SUR LE PERFECTIONNEMENT PRATIQUE

DES

APPAREILS OPTIQUES

POUR

L'ASTRONOMIE ET POUR LA PHOTOGRAPHIE.

BASES D'UNE THÉORIE MICRODYNAMIQUE GÉNÉRALE EXPLIQUANT TOUS LES PHÉNOMÈNES DE LA LUMIÈRE, DE LA CHALEUR ET DE L'ÉLECTRICITÉ.

PAR I. PORRO,
Ancien Officier supérieur du génie.

PARIS,
MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE,
Quai des Augustins, 55.

1858

Paris. — Imprimerie de Mallet-Bachelier, rue du Jardinet, 12.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE IV.

Machine pour démontrer figurativement dans les cours d'enseignement les phénomènes de photodynamie précédemment indiqués.

CHAPITRE V.

Ce que c'est que l'éther. L'électricité, sa vitesse.

CHAPITRE VI.

Bases d'une théorie microdynamique générale comprenant la lumière, la chaleur et l'électricité.

AVERTISSEMENT DE L'AUTEUR.

Invité en 1857, par la Société française de Photographie, à prendre part à la discussion qui s'était animée dans ses séances sur le perfectionnement des objectifs pour la photographie, j'ai rédigé d'une manière spéciale et abrégée la méthode très-élémentaire de calcul qui est mise en pratique avec succès depuis longtemps à l'Institut technomatique.

Dans le cours de cette discussion, j'ai eu lieu de voir que la question de mots avait ici, comme toujours, une influence retardatrice considérable, et qu'il fallait avant tout ramener à la théorie des ondulations non-seulement les faits matériels, mais aussi les vieilles expressions usitées dans la pratique, devenues inexactes aujourd'hui. J'ai consigné dans trois Mémoires qui ont été insérés dans le *Bulletin* de la Société le résultat auquel je suis arrivé.

Mais comme les principes et les méthodes de calcul très-élémentaires que j'ai développés sont applicables également à l'astronomie, à la microscopie, et en général à la construction de tous les instruments dioptriques et catadioptriques, j'ai pensé qu'une nouvelle édition des Mémoires dont il s'agit, ordonnée suivant un but plus général, serait reçue avec faveur.

J'ai ajouté une table des nombres réciproques afin de faciliter aux opticiens l'application de cette méthode, et de faire de ce travail un véritable trait d'union entre la théorie purement scientifique et son application pratique possible aux travaux de l'atelier.

Je me suis attaché surtout à décrire avec simplicité et à désigner avec des mots propres et bien définis les phénomènes tels qu'ils se passent dans les appareils et à en indiquer les causes, et j'ai été graduellement amené à considérer sous un point de vue plus général qu'on ne l'a fait avant moi, la nature et les variations des mouvements simples, infiniment petits des molécules éthérées qui donnent naissance aux phénomènes de la lumière et de la chaleur.

Poussée jusqu'à ses dernières conséquences, la théorie des mouvements simples, infiniment petits, permet de ne plus voir dans l'*éther* de mystérieuse et hypothétique essence, que *la matière* à l'état de sa plus extrême diffusion ; de ne plus voir dans les trois *impondérables* que trois *particularités distinctes et coexistantes* des mouvements infiniment petits des atomes matériels.

Considérée de ce point de vue tout à fait général, la *microdynamique* permet d'expliquer l'action chimique de la lumière, de la chaleur et de l'électricité ; elle conduit à l'explication qui nous manquait encore de divers phénomènes lumineux pourtant bien constants, tels par exemple que les raies sombres et les raies brillantes qui se montrent dans les spectres obtenus par le prisme, par le réseau ou autrement, de calculer la vitesse de l'électricité dans les conducteurs, etc.

Le caractère fondamental de la polarisation est pareillement ressorti des lois simples de la mycrodynamique; mais ce qui est plus important pour le perfectionnement des objectifs, c'est que, étudiée de ce nouveau point de vue, la loi de la séparation de la lumière en couleurs, qu'on appelle improprement *dispersion,* s'est trouvée théoriquement et expérimentalement exempte de ce qu'on avait appelé son *irrationnalité*.

Je suis arrivé théoriquement à cette démonstration en m'appuyant d'une part sur les formules si bien établies et

universellement admises de Cauchy, et expérimentalement au moyen du polyoptomètre qui permet de donner à l'expérience des prismes croisés de Newton toute la précision que comportent les instruments modernes.

C'est une double victoire remportée sur une erreur dans laquelle étaient tombés Fraunhofer et après lui tous les physiciens qui ont traité cette question au point de vue physique : quant à la partie mathématique de la théorie de la lumière, elle trouve ici un complément nécessaire; la *photodynamique*, telle qu'elle avait été comprise jusqu'à ce jour, n'est qu'un cas particulier de la microdynamique générale dont je me suis proposé de poser les bases, réservant les développements et la partie mathématique pour un autre Mémoire.

SUR LE PERFECTIONNEMENT PRATIQUE

DES

APPAREILS OPTIQUES

POUR

L'ASTRONOMIE ET POUR LA PHOTOGRAPHIE.

Considérations nouvelles de Photodynamie. — Mesure exacte et rationnelle de la Dispersion.

PAR M. I. PORRO.

CHAPITRE PREMIER.

DISCUSSION DE L'OBJECTIF SIMPLE POUR LA LUMIÈRE HOMOGÈNE.

§ 1. — *Prolégomènes.*

Lorsqu'on essaye d'appliquer l'analyse mathématique aux phénomènes matériels, on se trouve souvent en présence de questions très-complexes, qu'il faut néanmoins attaquer dès l'abord dans toute leur généralité; on en rencontre d'autres qu'il convient au contraire d'étudier par parties, afin de rendre l'analyse plus simple et les raisonnements moins abstraits.

Les questions de dioptrique dont nous allons nous occuper sont de cette dernière espèce; nous commencerons donc par faire abstraction de la décomposition de la lumière en couleurs, afin d'arriver à une première solution approchée qui servira de prodrome à la solution générale et complète.

Pour simplifier encore la question, nous ne considérerons, dans ce premier chapitre, que le cas particulier où les objets

composant le tableau seraient distribués sur une surface plane normale à l'axe optique de l'appareil; nous admettrons même la possibilité de courber la plaque impressionnable, pour l'adapter à la configuration de la surface focale.

Réduit à ce point de simplicité, le problème n'est cependant pas encore aussi facile qu'il le semble, à moins qu'on n'admette aussi que le *diaphragme-module* soit très-petit comparativement à la longueur focale de l'appareil et qu'il soit appliqué directement sur le verre.

Avant d'entrer en matière, il nous sera permis de rappeler quelques définitions et de bien déterminer la signification qu'on doit attacher à quelques-uns des mots (reçus d'ailleurs) que nous emploierons dans ce Mémoire, et ce pour épargner de longues périphrases qu'il faudrait trop souvent répéter.

Nous laisserons de côté l'idée un peu surannée des *rayons lumineux,* et nous admettrons franchement celle des ondulations lumineuses et le langage qui en dérive, lequel a l'avantage d'être plus vrai en fait, et d'expliquer plus facilement les phénomènes.

§ 2. — *Définition des aberrations.*

On sait que la solution mathématiquement rigoureuse du problème que nous poursuivons est impossible et qu'il faut se contenter de la solution approchée.

On a appelé du nom générique d'*aberrations* tout ce qu'on est forcé d'admettre de tolérance dans le résultat à obtenir.

Tout le monde admet cependant la distinction en aberration chromatique et en aberration sphérique; occupons-nous d'abord de cette dernière.

Dans le langage vulgaire les opticiens et les photographes attribuent à la figure sphérique des verres deux effets qu'il est important de distinguer, et même de désigner par des mots différents.

Le front d'une onde lumineuse peut être plan ou sphérique, il peut affecter une autre figure quelconque.

L'onde dont le front est sphérique peut se propager en s'éloignant de son centre de figure ou en s'en approchant.

La lumière qui émane d'un point lumineux consiste en une série d'ondes sphériques dont le front est convexe, dont la marche est directe; ces ondes vont en s'éloignant du centre :

elles correspondent à ce que l'on a coutume d'appeler des *rayons divergents*.

L'onde sphérique à front concave est celle qui marche vers un point de l'espace pour s'y concentrer; cette concentration consiste en ce que la somme de toutes les actions prises pour une étendue angulaire donnée du front de l'onde restant constante, l'amplitude des vibrations éthérées va en augmentant, et avec elle l'intensité lumineuse qui devient très-grande en arrivant au centre, en même temps que l'étendue du front de l'onde considéré devient très-petite, sinon nulle, et donne lieu à la formation d'une image réelle du point lumineux primitif duquel la lumière était partie.

L'onde sphérique concave ne se produit pas naturellement, elle correspond à ce qu'on appelle vulgairement des *rayons convergents*; on ne l'obtient que par la réflexion ou par la réfraction; le centre de courbure de l'onde à front sphérique concave constitue ce qu'on appelle un *foyer*.

On voit déjà que l'onde plane correspond à ce qu'on appelle dans le langage vulgaire des *rayons parallèles*; on peut en concevoir l'existence en supposant l'origine (le point lumineux) placé à une distance infinie.

Au moyen de la réfraction et de la réflexion sur des surfaces courbes, on arrive à modifier la courbure du front de l'onde et à la rendre telle qu'elle serait si la distance du point lumineux avait varié d'une manière quelconque : on peut donc rendre cette courbure nulle et même négative par la réfraction et par la réflexion.

Les géomètres ont déterminé la nature de la courbe que doivent affecter les surfaces réfringentes et les surfaces réfléchissantes pour opérer l'une quelconque de ces transformations tout en conservant au front de l'onde la figure rigoureusement sphérique; mais ces courbures ne conviennent qu'à une seule et unique position du point lumineux et sont inexécutables en pratique.

La réfraction et la réflexion dans nos appareils auront donc pour effet d'altérer plus ou moins la *sphéricité* du front de l'onde : voilà l'*aberration de sphéricité*; cet appellatif lui convient bien moins parce qu'on emploie des verres sphériques, que parce qu'elle consiste dans une altération de la *sphéricité* du front de l'onde lumineuse.

Il y a donc aberration de sphéricité quand la courbure du front de l'onde lumineuse cesse d'être une sphère; ce phénomène a lieu par la réfraction, même à travers les surfaces planes; il est nul dans certains cas particuliers pour les surfaces sphériques : ce n'est donc pas à la sphéricité des verres, mais bien à la sphéricité du front de l'onde qu'il convient de rapporter le sens de l'expression *aberration de sphéricité.*

Ces définitions une fois admises, on sentira dès l'abord qu'un système d'ondes dont le front ne serait pas rigoureusement sphérique serait incapable de produire une image nette du point d'où il provient, parce qu'il n'existerait aucun point de l'espace où l'étendue du front de l'onde devint sensiblement nulle; mais on diminue cet inconvénient en employant des diaphragmes.

Les appareils d'optique se composent de verres ou de miroirs qui ont pour objet de modifier la courbure et de changer la direction de la marche des ondes lumineuses; mais ces appareils ne peuvent pas agir sur la totalité du front de l'onde, qui est indéfini : on ajoute donc en un point convenable de l'appareil un *diaphragme-module* (1) dont l'objet est de découper dans le front de l'onde une certaine portion limitée, ordinairement circulaire, d'une étendue suffisante pour les effets que l'on a en vue de produire.

Dans les appareils optiques le diaphragme-module n'est pas toujours la première pièce rencontrée par la lumière; ce diaphragme est quelquefois extérieur, d'autres fois intérieur, d'autres fois encore il consiste dans la monture même du premier verre, et finalement, dans certains appareils photographiques, l'étendue du front de l'onde employée est déterminée par l'effet combiné de deux diaphragmes placés dans deux points différents de l'appareil, auquel cas l'intensité lumineuse est variable du centre au bord du tableau.

On peut concevoir un verre convergent simple sans épaisseur dont la configuration soit telle, que le système d'ondes sphériques engendré par un point lumineux placé sur son axe optique soit converti par la réfraction en un système d'ondes à

---

(1) Il ne faut pas confondre le *diaphragme-module* avec les autres diaphragmes qu'on emploie pour arrêter la lumière que réfléchissent les parois de l'appareil.

front concave rigoureusement sphérique; mais il n'en serait plus de même avec le même verre pour un point lumineux placé toujours sur l'axe optique, mais plus près ou plus loin, et à fortiori pour un point lumineux placé ailleurs que sur l'axe optique.

Il faut donc adopter en pratique un *tempérament*, et pour l'obtenir il ne faut pas construire des verres paraboliques, hyperboliques, etc., il faut donner aux surfaces du verre une figure *moyenne* qui concilie avec le minimum de *tolérance* tous les cas pratiques.

Ce tempérament se trouve dans la figure *sphérique*, la seule du reste qu'on ait pu jusqu'à ce jour exécuter avec précision.

Il faudra donc accorder une *tolérance* sur la netteté des images, parce que le front de l'onde qui eût dû se maintenir rigoureusement sphérique dans tout son trajet à travers l'appareil se trouve plus ou moins déformé, et que cette déformation de la sphéricité du front de l'onde est d'autant plus sensible, que la portion admise par le diaphragme-module est plus considérable; cette déformation de la sphéricité du front de l'onde ne doit pas être confondue avec les déformations de l'image de l'objet, déformations dont nous allons nous occuper dans le paragraphe suivant.

§ 3. — *Déformations*.

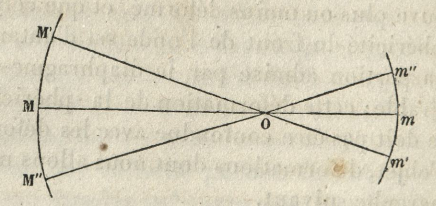
Un système optique dit *convergent*, qui produit l'image des objets situés à différentes distances sur une amplitude de champ plus ou moins grande, a généralement le défaut de produire des altérations dans la figure et dans la proportion des objets mêmes, surtout vers les bords du tableau, déformations bien connues de tous les photographes : ces déformations n'ont pas non plus pour cause principale la figure sphérique du verre, mais bien la différence d'obliquité des ondes incidentes qui proviennent des différentes parties du tableau; ces déformations en effet ne sont nullement modifiées. Quand on fait varier le diamètre du diaphragme-module, il n'y a que la variation de distance de ce diaphragme au verre qui modifie la déformation dont il s'agit.

Dans tout ce qui va suivre on désignera ce phénomène par le simple appellatif de *déformation*, le nom d'*aberration sphé-*

rique ou simplement d'*aberration* sera réservé pour désigner l'altération de la figure sphérique du front de l'onde.

La dispersion chromatique n'est pas proprement une *aberration*, elle n'implique pas une altération de la figure du front de l'onde, elle consiste en une décomposition de l'onde incidente, en apparence unique, en un nombre infini d'ondes élémentaires composantes, qui, en vertu de leurs différentes *vitesses de vibration*, quoique arrivées de conserve jusqu'à la première surface du milieu dirimant, éprouvent, au moment d'y pénétrer, des résistances différentes et la sensation bien connue des couleurs dont le caractère dynamique n'est autre chose que la *vitesse de vibration*.

§ 4. — *Réflexions théoriques sur l'objectif simple dans l'hypothèse de la lumière monochromatique.*



Soient O le lieu de l'objectif et du diaphragme-module que nous supposerons confondus ici avec l'ouverture de l'objectif;

M', M, M'' des objets distribués sur une surface courbe quelconque donnée;

m', *m*, *m''* la surface focale correspondante;

M O*m* l'axe optique du système.

Si l'objectif est composé d'une lentille unique très-mince et d'un diamètre relativement très-petit, il est toujours possible de déterminer mathématiquement la forme de la surface focale sur laquelle viennent se peindre nettement les images d'après la forme donnée de la surface occupée par les objets : le problème est parfaitement déterminé, on ne peut introduire aucune condition nouvelle.

Il n'y a donc ici rien à étudier de nouveau pour l'opticien, et quant à l'astronome et au photographe, ils n'auront qu'à

déterminer expérimentalement la limite du diamètre de l'objectif et de l'amplitude du champ qui, en raison de l'aberration et de la déformation des objets, correspond à une limite de netteté et de proportionnabilité (1) admissible; mais quant à la figure de la surface focale, il faudra l'accepter comme elle est : il n'y aura d'autre ressource que de donner à la plaque focale la même courbure, afin de diminuer l'inconvénient du manque de netteté vers les bords.

Forcé d'accepter des déformations dans les images, l'astronome et le photographe sont seuls compétents pour fixer la limite qu'il ne faut pas dépasser.

Mais du moment qu'on prend en considération l'épaisseur du verre et la position du diaphragme-module, on dispose de deux variables de plus, le problème devient indéterminé : on peut introduire de nouvelles conditions, celle par exemple de rendre la surface focale sensiblement plane quand la surface qui contient les objets est elle-même plane, ou bien quand les distances, quoique très-différentes pour les différents objets qui composent le tableau, sont néanmoins toutes très-grandes par rapport à la longueur focale de l'objectif.

Cette condition est toujours possible dans des limites pratiques discrètes; mais elle exige parfois une épaisseur de verre considérable.

Nous ne rapportons pas ici les formules, connues du reste de tous les opticiens, au moyen desquelles on peut calculer les rayons de courbure et l'épaisseur du verre simple, ainsi que la position du diaphragme qui, dans des limites données de distance de champ et de lumière, satisfait, avec une tolérance de netteté donnée, à la condition de *planitude* de la surface focale; il nous suffira d'avoir établi par les considérations qui précèdent que ce verre est possible en pratique : l'amplitude du champ et la mesure de la lumière qui dépend essentiellement du diamètre du diaphragme-module seront d'autant plus grands que la tolérance admise sur l'aberration et sur la déformation sera plus grande. Pour un point lumineux situé sur l'axe optique l'aberration se fait sentir sur le front de l'onde d'une manière symétrique en tout sens; son effet se traduit par

(1) Ce mot est employé ici dans le sens exactement opposé à celui de *déformation*.

une auréole qui entoure l'image de ce point. L'étendue de cette auréole est proportionnelle au carré du diamètre du diaphragme-module. Pour un point situé hors de l'axe, l'effet cesse d'être symétrique, il est à son maximum dans la direction du plan qui passe par l'axe et par le point considéré.

Si l'on avait une suite d'objets disposés sur une même ligne horizontale, et si le tableau avait très-peu d'étendue dans le sens vertical, on pourrait faire usage d'un diaphragme elliptique dont le grand axe serait vertical; quand au contraire les dimensions du tableau sont peu différentes dans les deux sens, on obtient le même effet en disposant deux diaphragmes, un à l'avant, l'autre à l'arrière du verre : il n'y a plus alors de diaphragme-module proprement dit, ce sont les bords alternes de ces deux diaphragmes qui limitent la quantité de lumière admise dans chaque direction, quantité qui varie avec l'obliquité, en sorte que le centre du tableau se trouve beaucoup plus éclairé que les bords.

Si l'on admettait pour la surface focale la courbure sphérique et si le tableau se composait d'objets placés à des distances quelconques, mais toutes très-grandes par rapport à la distance focale de l'objectif, l'analyse mathématique démontre que dans de telles conditions il serait possible de construire un verre simple qui produirait une étendue du champ très-grande dans les deux sens sans rien perdre de clarté vers les bords et sans déformation aucune, et avec le minimum d'aberration sphérique. Malheureusement la figure de la surface focale sphérique n'est guère admissible dans l'état actuel de la photographie, si ce n'est pour les vues panoramiques, ainsi qu'on le verra dans un autre chapitre.

§ 5. — *Quelques déductions de la théorie de l'objectif simple pour servir de guide pratique aux constructeurs.*

On déduit des formules générales de l'optique, appliquées au problème qui nous occupe, les conclusions suivantes, aptes à guider l'opticien constructeur.

1°. Avec une lentille simple très-mince et le diaphragme-module superposé à la lentille, la surface focale est sensiblement une portion de sphère dont le rayon de courbure est environ la moitié de la longueur focale de la lentille : si les courbures du verre sont alors celles qui réduisent au mini-

mum l'aberration, la déformation sera maximum, et *vice versâ*.

2°. Si l'on éloigne progressivement le diaphragme du verre en dehors de l'appareil, le rayon de courbure de la surface focale ira en diminuant, celle-ci deviendra à très-peu près plane quand le diaphragme sera arrivé à la distance du foyer antérieur.

L'aberration devient alors pour le même verre un maximum, et la déformation un minimum.

3°. En général, les courbures des deux surfaces du verre qui conviennent pour rendre minima l'aberration dans un cas donné, correspondent à une déformation maxima et *vice versâ;* il n'y a donc pour un verre donné qu'un seul lieu du diaphragme qui concilie dans un *tempérament* acceptable les deux conditions.

4°. Il y a une position intermédiaire pour laquelle l'aberration et la déformation se maintiennent dans des limites acceptables, pourvu qu'on n'exige pas un champ trop étendu.

5°. Il y a une épaisseur de verre et une position du diaphragme-module qui combinées donnent une *déformation mathématiquement nulle, une aberration très-petite,* et un champ très-grand; mais la surface focale est alors sphérique, elle a son centre dans l'intérieur de l'épaisseur du verre qui est terminée par deux courbures convexes.

6°. Le verre ménisque (à deux courbures contraires) n'est convenable que pour le cas particulier pour lequel il a été calculé, l'aberration et la déformation qui en résultent, augmentent trop rapidement avec l'obliquité : cette forme, quand on ne veut faire usage que d'un seul verre, n'est pas d'un bon usage en pratique.

7°. Avec deux verres simples convenablement combinés, on peut arriver à diminuer considérablement la déformation et l'aberration, et à obtenir une planitude satisfaisante pour la surface focale jusqu'à une trentaine de degrés de champ pour la photographie et jusqu'à 3 degrés pour l'astronomie; mais au delà de cette limite, ces défauts augmentent très-rapidement.

8°. Quand la lumière incidente arrive en ondes très-peu courbes, c'est-à-dire quand les objets sont considérablement éloignés, le système optique peut consister en un seul verre; mais il faut nécessairement deux verres lorsque la distance du

tableau est réduite à cinq ou six fois la longueur focale du système. Pour les copies de grandeur naturelle, le système doit être symétrique par rapport au diaphragme-module.

9°. Un système optique à deux verres étant construit pour un cas donné de distance des objets ne sera pas propre à une autre distance.

On peut cependant faire varier dans certaines limites son aptitude, en rendant variable la position du diaphragme-module, en même temps que la distance des deux verres.

10°. On ne peut rien statuer de positif sur les proportions du système, sur les courbures et les épaisseurs des verres convenables pour la photographie, tant que l'expérience n'aura pas fourni les constantes des formules et déterminé les limites des tolérances acceptables.

C'est de ces expériences que devraient s'occuper sérieusement les photographes, afin de fournir aux opticiens ces éléments indispensables.

CHAPITRE II.

CONSIDÉRATIONS ET FORMULES PRATIQUES DANS LE SYSTÈME DES ONDULATIONS.

---

§ 1. — *Notions sur les courbures.*

Les surfaces des verres employés en optique sont données généralement par leur rayon de courbure; la valeur du rayon introduite dans les formules n'est pas toujours propre à simplifier les calculs.

En indiquant au contraire les courbures par le nombre réciproque du rayon, Herschel a le premier obtenu des formules plus simples et plus élégantes que celles connues avant lui.

Un nombre est dit *réciproque* d'un autre quand leur produit est l'unité : 0,2 est le réciproque de 5; 0,25 est le réciproque de 4, etc. Il est facile de voir qu'un des deux nombres est nécessairement fractionnaire. Les opticiens feront bien de se procurer, pour faciliter leurs calculs, une table de nombres réciproques; à défaut de table, on supplée par les logarithmes.

Sur une sphère dont le rayon est r, considérons une très-

petite calotte sphérique; indiquons par $2f$ le double de la flèche, et par x la moitié du diamètre de la base de cette calotte: on aura en négligeant le terme en f^2, qui est du second ordre par rapport x, la relation

$$x^2 = 2fr.$$

Si l'on prend pour unité de mesure le millimètre et si on rend x constant et égal à l'unité, on aura

$$2fr = 1,$$

c'est-à-dire que $2f$ sera le nombre réciproque du rayon r; ce nombre, que nous désignerons désormais par c, *sera la mesure de la courbure*, il présentera l'avantage pratique d'être facile à déduire directement des mesures faites au sphéromètre employé par les opticiens. Nous affecterons conventionnellement du signe + la quantité c quand la convexité sera tournée vers la source de la lumière; le signe — s'appliquera au cas contraire.

Mais en exprimant, pour $x = 1$ millimètre, les autres quantités en la même unité de mesure, on tomberait sur des nombres composés d'une quantité de chiffres fort incommode; pour éviter pratiquement cet inconvénient, on n'a qu'à adopter le millième de millimètre pour unité de mesure de la quantité $2f$, et le mètre pour l'unité de mesure des rayons de courbure r.

Ces deux unités conventionnelles sont très-convenables pour la pratique, et on peut facilement y ramener les mesures prises au sphéromètre à l'aide d'un facteur constant, propre à chaque instrument.

La courbure d'un verre, d'après ce système, sera donc pour l'opticien la mesure qu'on obtiendrait de *balle à bassin* en y employant un très-petit sphéromètre hypothétique dont la longueur des branches serait de 1 millimètre, et dont le pas de la vis serait de 1 millième de millimètre.

§ 2. — *Quelques notions utiles à rappeler sur la théorie des ondulations; courbure du front de l'onde.*

On sait déjà que la lumière consiste en vibrations moléculaires de l'éther qui remplit l'espace et pénètre les corps; c'est une sorte de frémissement qui, excité en un point, se commu-

nique de proche en proche et se propage dans tous les sens avec une si grande vitesse, que l'esprit peut à peine s'en former une idée (environ 300,000 kilomètres dans une seconde), surtout quand on s'efforce d'y associer l'idée de la longueur d'ondulation qui n'est moyennement que d'un demi-millième de millimètre.

On sait aussi qu'on appelle *longueur d'ondulation* la quantité dont le mouvement lumineux avance durant le temps qu'emploie une molécule d'éther à accomplir, dans un plan normal à la direction de propagation, une vibration entière.

La propagation a lieu par ondulations naturellement sphériques. Dans les espaces célestes, la vitesse de propagation est la même pour toutes les vitesses possibles de vibration; ces deux sortes de vitesses (vitesse de vibration et vitesse de propagation), qu'il ne faut pas confondre, sont dépendantes de l'état d'élasticité de l'éther.

La vitesse de propagation, ainsi que l'amplitude et probablement aussi la durée des vibrations, varient aussitôt que le mouvement pénètre dans un milieu matériel, parce que l'éther s'y trouve à un état différent d'élasticité.

Ce qu'on appelle le *front* ou la *surface* de l'onde n'est autre chose que l'ensemble de toutes les molécules éthérées qui se trouvent atteintes, à un même instant, par le mouvement et qui par conséquent se trouvent dans la même phase de vibration.

Une molécule d'éther peut vibrer autour de son point de repos en décrivant une simple vibration rectiligne dans un sens quelconque, ou bien elle peut décrire autour de son point de repos un cercle ou une orbite elliptique inclinés d'une manière quelconque dans l'espace; mais le mouvement lumineux qui se propage normalement au front de l'onde et qui est sensible à nos yeux, ne se compose que des vibrations exécutées tangentiellement à la surface même du front de l'onde. C'est-à-dire que nous ne percevons la lumière qu'en vertu de vibrations qui ont lieu dans des plans normaux à ce qu'on appelle vulgairement le *rayon lumineux*.

L'amplitude de ces vibrations constitue l'intensité de la lumière; les différences dans la durée des vibrations causent en nous ces différences de sensations que nous avons appelées *couleurs*.

En se propageant d'un milieu dans un autre, le mouvement lumineux éprouve un changement qui affecte principalement la vitesse de propagation : c'est ce changement qui donne lieu aux phénomènes connus sous le nom de *réfraction*. Ce qu'on appelle *indice de réfraction*, et qui dans la théorie des rayons consiste dans le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction, n'est autre chose, dans la théorie des ondulations, que le rapport des vitesses de propagation du mouvement lumineux du premier au deuxième milieu traversé par la lumière ; la réfraction n'est autre chose que ce changement de vitesse qui a pour conséquence nécessaire un changement de courbure du front de l'onde et partant un changement de direction de ses normales (les rayons dans l'ancienne théorie).

Pour mettre en évidence l'insuffisance de l'hypothèse des rayons, il suffira de faire observer que le phénomène de la réfraction a lieu, même sous l'incidence normale, et qu'il n'est pas exact de dire, ainsi qu'on l'admettait dans l'ancienne théorie, qu'un rayon lumineux qui passe d'un milieu dans un autre, sous l'incidence normale à la surface de séparation, ne subit aucune altération puisqu'il y a changement dans la vitesse de propagation.

En se propageant d'un milieu dans un autre, le mouvement lumineux éprouve également, dans le sens du front de l'onde, un changement qui a en général pour effet de diminuer l'amplitude des vibrations éthérées : c'est là ce qu'on appelle improprement *absorption* ; on eût mieux dit *extinction* (1). Il y a plus : la quantité de mouvement dont se trouve animée chaque molécule éthérée à l'instant de l'*appulse* (2), ne se communique

(1) Il y a des substances, telles que le sulfate de quinine, dans lesquelles l'éther existe probablement à un état de liberté plus grande que dans l'air, qui, par conséquent, ont pour effet d'exalter, aussitôt qu'il y pénètre, le mouvement lumineux d'une certaine vitesse de vibrations, c'est-à-dire de permettre à ces vibrations d'acquérir une plus grande amplitude ; ces corps rendent en effet visible le mouvement éthéré à l'extrémité obscure du spectre prismatique où l'œil ne perçoit plus rien sans la présence de ces corps.

(2) Ce mot, emprunté à une langue étrangère, est employé ici pour indiquer l'action qui a lieu à l'instant de l'arrivée du front de l'onde au point de tangence avec la surface de séparation des deux milieux. A cet instant, le front de l'onde ne *touche* pas seulement, il *frappe* (*pulsat* en latin) à la surface de séparation des deux milieux.

pas tout entière à la molécule contiguë de l'éther, renfermée dans le second milieu; une partie de cette quantité de mouvement réagit sur la molécule immédiatement précédente du premier milieu et donne lieu à un système d'ondes *réfléchies*, qui se propage en retour dans le premier milieu; mais nous n'avons pas pour le moment à nous occuper de cette partie du phénomène, si ce n'est pour la considérer comme une perte d'effet utile photographique, perte d'autant plus grande que le nombre des verres, et partant des surfaces traversées, sera plus grand.

L'amplitude de l'orbite décrite par la molécule éthérée peut se trouver diminuée par la réfraction et par la réflexion inégalement dans les deux sens, soit dans l'onde réfléchie dont nous venons de parler, soit dans l'onde qui se propage dans l'intérieur du deuxième milieu; nous n'avons pas non plus à nous occuper ici de cette inégalité qu'accompagnent les phénomènes de *polarisation*, mot encore plus mal appliqué que celui d'*absorption*, mais aujourd'hui universellement reçu dans le langage scientifique.

Finalement, il y a des corps dans lesquels l'état d'élasticité de l'éther est tel, que la durée des vibrations éthérées subit un changement au moment où le mouvement lumineux y pénètre: ce sont alors des phénomènes de coloration qui se produisent, mais qu'il ne faut pas confondre avec la décomposition de la lumière par réfraction, dont nous parlerons plus tard.

Toutes les variétés de mouvements infiniment petits qui résultent de ces phénomènes peuvent coexister dans une étendue très-petite de l'espace et du temps et se propager sans se troubler.

On trouvera dans le chapitre III des développements de ces notions qui jetteront quelque jour sur certains phénomènes inexpliqués de la photographie.

§ 3. — *Expression de la courbure du front de l'onde. — Formules optiques qui en dérivent.*

Revenons maintenant au front de l'onde lumineuse et à sa propagation à travers un système optique. Puisque la surface du front de l'onde est généralement sphérique, nous pourrons y appliquer le mode de définition adopté pour les surfaces de verres, nous désignerons donc par ψ^0 la mesure de courbure

du front de l'onde lumineuse, cette quantité étant d'ailleurs déterminée en nombre pour la pratique, exactement de la même manière et avec les mêmes unités de mesure que pour les surfaces de verre; le signe + indiquera que le front de l'onde est convexe dans le sens de la propagation.

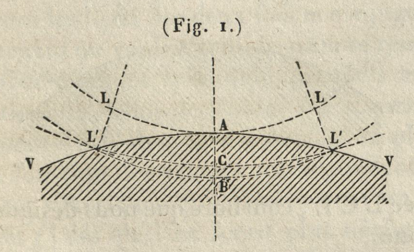
Ces principes une fois posés, appliquons-les aux phénomènes qui se produisent à la surface sphérique de séparation de deux milieux, l'air et le verre par exemple.

D'après ce qu'on a dit, lorsque le mouvement lumineux rencontre la surface de séparation des deux milieux, il se propage dans le deuxième que nous supposerons plus dense avec une vitesse moindre, et si la durée des vibrations éthérées n'est pas sensiblement changée, ainsi que cela se passe généralement pour les matières employées à la construction des objectifs, la longueur d'ondulation se trouve diminuée dans le même rapport que la vitesse, rapport que nous désignerons par m; cette quantité est identiquement la même que celle qui résulte de la loi de Descartes.

Nous ferons usage aussi quelquefois du nombre réciproque de m, et nous le désignerons par n.

Soit donc LAL, *fig.* 1, la surface du front de l'onde à l'instant de l'appulse en a avec le verre sphérique VAV.

(Fig. 1.)



Soit LL' = AB une longueur d'ondulation dans le premier milieu; si le verre n'eût pas existé, le mouvement lumineux serait arrivé de A en B dans le même temps que de L en L'.

Mais la vitesse de propagation se trouvant diminuée dans le verre dans la proportion de m, le mouvement n'aura pu avancer, dans le second milieu, depuis l'appulse que jusqu'en C, durant le temps que, dans le premier milieu, le point L du front de l'onde sera arrivé en L', et commencera à ébranler la molécule correspondante du second milieu.

Le point C satisfait à la condition

$$m\,(AC) = AB.$$

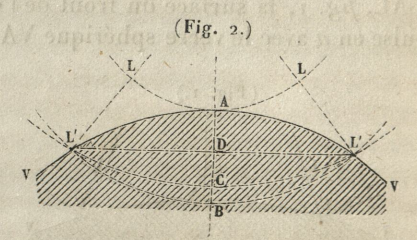
Le front de l'onde dans le verre atteindra donc au même instant les points L', C, L', c'est-à-dire que sa courbure ψ^0 se trouvera diminuée d'une quantité proportionnelle à m.

Nous ne nous arrêterons pas pour le moment à déterminer la nature de la courbe que le front de l'onde affectera dans le second milieu à ce dernier instant, nous admettrons que, dans les limites d'étendue que nous considérons ici, la courbure du front de l'onde reste sensiblement sphérique.

Pour déterminer la nouvelle courbure du front de l'onde et employer tout de suite les unités de mesure adoptées précédemment, nous supposerons, *fig.* 2, que L'L' est égal à $2x$, c'est-à-dire 2 millimètres, quantité encore assez petite pour pouvoir admettre la supposition ci-dessus.

Alors L'DL', *fig.* 2, étant une corde commune à tous les arcs de courbure, les quantités AD, BD seront respectivement proportionnelles à c' et à ψ^0; elles en seront la moitié. La quantité CD sera la moitié de la courbure nouvelle du front de

(Fig. 2.)



l'onde réfractée L'C'L', courbure que nous désignerons par ψ'.

On aura donc

$$AB = \frac{1}{2}(c + \psi^0),$$

$$CD = \frac{1}{2}\psi',$$

$$AC = \frac{1}{2}(c' + \psi').$$

On voit que nous admettons ici que la quantité ab est négligeable par rapport au rayon de courbure du front de l'onde, ce qui ne sera pas contesté.

Puisqu'on doit avoir

$$AB = m\,(AC),$$

on aura aussi

$$\frac{1}{2}(c' + \psi^0) = \frac{1}{2}\,m\,(c' + \psi').$$

Supprimant le facteur commun $\frac{1}{2}$, il vient

$$c' + \psi^0 = m\,(c' + \psi');$$

d'où l'on tire, en employant le rapport réciproque n,

(1) $$\psi' = n\psi^0 + (n - 1)\,c'.$$

Cette formule très-simple fait connaître la courbure que prend le front de l'onde en entrant dans le deuxième milieu.

ψ' étant connu, si l'on voulait avoir la position du centre, c'est-à-dire le point où il eût fallu placer la source de lumière pour obtenir, en l'absence du verre, un front d'onde tout pareil, on l'aurait en portant sur la normale commune AB, dans le sens convenable, une longueur égale à $\frac{1}{\psi'}$, et si on y porte de même dans son sens une longueur égale à $\frac{1}{\psi^0}$, les points ainsi obtenus seront les lieux des deux foyers conjugués du système.

Si maintenant on voulait tout de suite se rendre compte des effets de l'aberration de sphéricité qui n'est autre chose que la déformation du front de l'onde, on n'aurait qu'à donner successivement à L'L' des valeurs de plus en plus grandes et à calculer en fonction des valeurs correspondantes à L'L' et à c les courbures sphériques qui résulteraient en tenant compte du terme en f^2 dès qu'il ne serait plus négligeable ; la différence entre les nombres réciproques de ces courbures serait la valeur de ce qu'on appelle dans l'ancienne théorie l'*aberration longitudinale*.

Ce moyen n'est pas élégant comme théorie, mais il est très-commode en pratique et fait connaître aussitôt le maximum de l'ouverture admissible.

Ajoutons maintenant une deuxième surface de séparation, infiniment près de la première, de manière à constituer une lentille dont on puisse négliger l'épaisseur, et voyons ce que devient le mouvement lumineux en repassant dans l'air.

Évidemment la formule (1) sera encore applicable ici, à charge seulement de substituer m à n; en appelant par ordre ψ', ψ'' ce que devient ψ^0 après chaque surface traversée; c', c'' les courbures des deux surfaces de notre lentille hypothétique sans épaisseur, on aura

$$\psi' = n\psi^0 + (n-1)c',$$
$$\psi'' = m\psi' + (m-1)c''.$$

Substituant dans la deuxième équation la valeur de ψ' donnée par la première, on obtiendra, à cause de $mn = 1$,

$$\psi'' = \psi^0 - (m-1)(c' - c''),$$

qu'on peut écrire aussi sous cette autre forme :

$$\psi^0 - \psi'' = (m-1)(c' - c''),$$

et introduisant le signe Δ pour indiquer les différences, on peut écrire

$$(2) \qquad \Delta^0_{''}\psi = (m-1)\,\Delta'_{''}\,c.$$

Cette formule nous enseigne que la variation de courbure du front de l'onde par son passage à travers une lentille sans épaisseur est égale à la différence des deux courbures de la lentille, multipliée par le rapport des vitesses de propagation, diminuée de l'unité.

Si la lentille avait une épaisseur dont il fût nécessaire de tenir compte, épaisseur que je désignerai par e, il faudrait remarquer qu'au moment de l'appulse du front de l'onde à la deuxième surface, son rayon de courbure $\frac{1}{\psi'}$ serait augmenté de la quantité e, que par conséquent, en indiquant par ψ_1 la nouvelle courbure, on a en cet instant

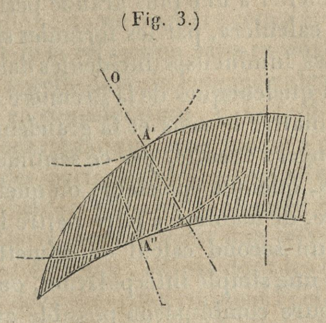
$$(3) \qquad \psi_1 = \frac{1}{\frac{1}{\psi'} + e} = \frac{\psi'}{1 + e\psi'}.$$

C'est cette nouvelle valeur ψ_1 qu'il faut employer pour continuer le calcul.

Considérons maintenant le cas où le point lumineux O n'est pas sur l'axe optique de la lentille, et admettant comme dans

la *fig.* 3, que l'appulse du front de l'onde à la première surface

(Fig. 3.)



du verre a lieu en A′, il est évident que les courbures ψ^0, ψ', ψ_1 auront pour normale commune la ligne indéfinie A′O, mais l'appulse à la deuxième surface aura lieu en un nouveau point A″, qui ne se trouvera pas sur la ligne OA′; il y aura donc à déterminer, par les moyens ordinaires de la trigonométrie, la position du point A″ avant d'appliquer les formules précédentes à la continuation du calcul, ce qui n'offre aucune difficulté, et peut même s'obtenir avec une approximation suffisante par une construction graphique.

En poursuivant ainsi le calcul des phénomènes qui ont lieu de surfaces en surfaces, on arrive assez promptement à l'étude complète de tout système optique donné pour la photographie, pour les microscopes, pour les instruments d'astronomie, etc.; mais, malgré la simplicité de la formule élémentaire précédemment établie, si l'on voulait composer à priori une formule générale, exprimant, par exemple, pour un objectif photographique à portrait, la courbure ψ^{viii} du dernier front de l'onde en fonction des courbures des verres et de la courbure ψ^0 du premier front de l'onde, puis l'assujettir à remplir des conditions données de planitude de foyer et autres, et calculer les courbures des verres qui y satisfont, et tenir compte des termes en f^2 partout où ils ne seraient pas négligeables, ce serait un travail de théorie abstraite encore bien long et bien pénible, même dans le cas de la lumière homogène; le temps manquerait toujours à l'artiste pour en faire d'utiles applications.

Fort heureusement cela ne lui est pas nécessaire; plusieurs systèmes optiques qui approchent de la solution que nous poursuivons sont connus ou faciles à imaginer, il n'y a plus

qu'à déterminer les corrections dont ces systèmes sont susceptibles pour les amener à une plus grande perfection.

Pour cela, on calculera, par les formules simples ci-dessus, la marche d'ondes lumineuses incidentes dans deux et même dans trois points quelconques de la première surface ; on arrivera ainsi à connaître le sens et la grandeur des défauts du système : on changera ensuite, par ce sentiment qui est familier aux opticiens, quelque épaisseur, ou quelque distance, ou quelque courbure, de manière à faire naître les défauts opposés, et on fera un second calcul en admettant ces changements ; puis, par une simple interpolation, on arrivera facilement à la meilleure combinaison possible avec les matières dont on disposera.

Jusqu'ici nous ne nous sommes pas départi du premier problème, celui de la lumière homogène ; mais il est facile de voir que la solution pratique qui résulte de nos formules s'applique tout aussi bien à la lumière composée.

En effet, la décomposition de la lumière ne consiste qu'en ce que la durée de la vibration éthérée variant avec la couleur, la longueur d'ondulation, et par suite le rapport des vitesses de propagation dans les deux milieux varie ; il n'y aura donc qu'à faire l'application des mêmes formules au système de verres donné, en attribuant à m des valeurs différentes, convenablement choisies.

Mais ici une question importante s'élève, c'est celle des spectres secondaires, c'est le foyer chimique, c'est ce qu'on appelle l'*irrationnalité de la dispersion*. Ces questions seront traitées dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III.

NOTIONS GÉNÉRALES DE PHOTODYNAMIE. — DISPERSION. — OBJECTIF PANORAMIQUE.

---

§ 1. — *Notions générales de photodynamie.*

Dans les précédents chapitres on a vu que le mouvement vibratoire, qui constitue la lumière, se propage avec une vitesse uniforme dans l'éther par ondes sphériques qui ont pour centre l'origine de la lumière ; on a vu aussi comment la vitesse

de propagation, et partant la courbure du front de l'onde, se modifie à la rencontre des surfaces courbes des milieux matériels, et on a expliqué d'une manière complète les phénomènes de la réflexion et de la réfraction sans recourir à la considération de ce qu'on appelle dans le langage vulgaire un *rayon* (1). Mais on n'a pris en considération, dans lesdits chapitres, que la lumière monochromatique sans même s'occuper de la nature intime ni des particularités essentielles du mouvement des molécules éthérées. On a vu seulement que chaque molécule de l'éther décrit généralement une très-petite ellipse autour de son point de repos, ellipse dont les dimensions (l'amplitude dans les deux sens) déterminent l'éclat ou l'intensité de la lumière, et dont la vitesse de révolution orbitaire, de laquelle dépend la longueur d'ondulation (2), détermine la couleur.

Pour arriver à bien établir comment se passent les phénomènes relatifs aux couleurs, ainsi que tous les autres phénomènes de la mécanique moléculaire éthérée d'où dépendent tous les effets photographiques, les diverses espèces de polarisation, la scintillation, etc., il est utile de se rendre compte de toutes ces particularités précédemment omises.

Une molécule éthérée sous l'influence d'un corps lumineux et calorifique décrit dans l'espace, autour de son point de repos, une petite orbite généralement elliptique avec une vitesse révolutive très-grande (moyennement six cents révolutions en un millionième de millionième de seconde).

Des considérations mécaniques qui ne sauraient trouver place dans ce court exposé, conduisent à admettre que d'une part chaque molécule tourne sur elle-même avec une vitesse bien plus grande encore autour d'un axe variablement incliné sur le plan de l'orbite, que d'autre part l'influence des molécules qui précèdent et qui suivent dans la direction de la propagation la molécule considérée produit des perturbations, d'où résultent des *variations périodiques* dans la position du plan de l'orbite par rapport au front de l'onde (*libration*) et dans

---

(1) Pour nous, le rayon physique n'existe pas ; dans le système des ondulations le rayon ne serait tout au plus qu'une abstraction mathématique, une normale au front de l'onde.

(2) On se rappelle que la longueur d'ondulation n'est autre chose que l'espace parcouru par la lumière dans le sens de la propagation, durant le temps que met une molécule éthérée à accomplir une révolution dans son orbite.

l'orientation de ses axes par rapport à un plan fixe normal au front de l'onde (*précession*). Deux autres variations périodiques ont lieu encore; elles affectent, l'une l'amplitude considérée dans les deux sens, l'autre la vitesse de révolution dans l'orbite. C'est dans la nature même des corps lumineux ainsi que dans l'action des milieux matériels traversés par la lumière que résident les causes de ces autres variations.

Libration et précession. — Le plan de l'ellipse se balance périodiquement par rapport à un plan tangent au front de l'onde sur l'un de ses deux axes : c'est là la *libration;* et en même temps cet axe est comme animé d'un mouvement de révolution uniforme dans le plan tangent au front de l'onde : c'est ce que nous désignons sous le nom de *précession.*

Ces mots de *libration* et *précession* empruntés à l'astronomie donnent, par similitude, une idée assez exacte de la nature de ces deux variations.

On peut rapporter à trois plans coordonnés l'équation générale du mouvement et prendre pour les x, y le plan tangent au front de l'onde : dans ce cas la troisième coordonnée z représentera la partie *longitudinale* du mouvement de la molécule tel qu'il a lieu dans la nature; elle ne contribuera pas à la production des phénomènes de lumière, mais il est permis de croire qu'elle représente la chaleur qui accompagne presque toujours la lumière. Il n'est pas improbable que la rotation des molécules éthérées sur elles-mêmes représente l'électricité.

Dans un même front d'onde toutes les molécules éthérées sont atteintes au même instant, elles commencent toutes à se mouvoir de la même manière au même instant et avec la même vitesse orbitaire. Cette identité entre les mouvements de toutes les molécules d'un même front d'onde se maintient indéfiniment, d'où il suit que tous les rayons vecteurs sont au même instant parallèles entre eux. (On dit, dans le langage photodynamique ordinaire, que toutes les molécules d'un même front d'onde se trouvent *dans la même phase.*) D'où il suit qu'en x et en y le mouvement moléculaire a lieu sans compression ni dilatation du fluide éthéré.

Il n'en est pas de même dans le sens des z : ici il y a, en passant d'un front d'onde au suivant, un temps écoulé, partant un retard de phase qui, pour toute l'épaisseur de l'onde, atteint une révolution entière. Il y a donc nécessairement,

dans ce sens, des changements alternatifs de densité de l'éther semblables à ceux que produit dans l'air le son ; ce sont ces changements de densité qui donnent la sensation de la chaleur.

Variation d'amplitude. — (Pour être plus précis nous considérerons la demi-amplitude.) L'amplitude, c'est-à-dire l'intensité, change périodiquement dans les deux sens correspondant au grand et au petit axe de l'ellipse ; elle peut devenir nulle dans un seul sens, ou dans les deux sens en même temps ; elle peut même devenir négative, et quand elle devient négative dans un seul sens, il y a changement du sens de la révolution avec perte ou gain d'une demi-révolution et partant, dans la propagation, d'une demi-longueur d'ondulation (1).

Variation de la vitesse révolutive. — Finalement la vitesse révolutive dans l'orbite varie périodiquement dans les limites correspondant aux couleurs extrêmes ; le calcul démontre que ces limites vont beaucoup plus loin du côté du violet que du côté du rouge.

Les durées évolutives des périodes de ces différentes variations du mouvement de chaque molécule éthérée sont très-grandes par rapport à la durée moyenne de la révolution orbitaire, mais généralement très-petites par rapport à la durée de la sensation sur la rétine ; les durées des variations périodiques sont cependant parfois de même ordre de grandeur et tout à fait comparables à la durée de la sensation sur la vision.

Il est facile de comprendre maintenant que la coexistence de toutes les couleurs dans la lumière blanche n'implique pas la simultanéité qui n'est pas possible, il suffit que la durée de la période de variation de la vitesse révolutive soit très-petite, sinon infiniment petite, par rapport à la durée de la sensation sur la rétine. Alors on comprend que la rétine peut percevoir la somme de tous les mouvements qui se succèdent dans la durée d'une période et se renouvellent continuellement avec une rapidité qui équivaut, pour nos sens, à la *simultanéité* (2).

---

(1) Ceci permet d'expliquer certain renversement dans l'ordre des anneaux colorés de Newton, pour lesquels l'expérience semblait être en opposition avec la théorie.

(2) Il est évident que *toute* la lumière qui se propage dans la direction d'une molécule éthérée unique que nous considérons, doit passer nécessairement par cette molécule ; or comment comprendra-t-on qu'une seule molécule puisse se mouvoir à la fois avec deux ou plusieurs vitesses différentes ?

Par des considérations tout à fait semblables, et faisant intervenir la précession dont différentes causes peuvent troubler l'uniformité du mouvement et même l'arrêter tout à fait et les variations de l'amplitude qui peut devenir nulle et même négative dans un seul sens ou dans les deux sens, en même temps ou alternativement, et observant que toutes les modifications possibles des variations périodiques peuvent se combiner de différentes manières, ainsi qu'on le voit surtout lorsque la lumière se propage à travers les milieux cristallisés, on explique facilement tous les phénomènes de polarisation rectiligne, elliptique, circulaire, chromatique, calorique, la scintillation des étoiles, les raies sombres du spectre solaire, les raies brillantes de la combustion des métaux, etc.

Sans entrer ici dans de longues explications, nous nous contenterons d'indiquer rapidement les points suivants :

1°. Dans la lumière *naturelle,* c'est-à-dire non *polarisée,* quelle qu'en soit la source, les quatre variations périodiques ci-dessus définies coexistent, la forme de l'orbite est toujours l'ellipse; le mouvement de précession est uniforme : les variations périodiques d'amplitude et de vitesse révolutive ont entre elles certains rapports qui sont propres et caractéristiques de chaque source particulière de lumière.

2°. Le phénomène dynamique fondamental de tous les états de la lumière, qu'on a improprement compris sous l'appellatif de *polarisation,* consiste, si la polarisation est totale, dans la cessation, pour une cause quelconque, du mouvement de précession; la polarisation est alors circulaire, elliptique ou rectiligne, si en même temps la variation périodique de l'amplitude s'est trouvée arrêtée, pour la même ou pour toute autre cause, au moment où l'orbite était circulaire, elliptique ou rectiligne : il est évident que la chaleur qui accompagne la lumière se trouve polarisée en même temps (1); la polarisation est chromatique quand le phénomène fondamental ci-dessus défini se combine avec des stationnements de la variation de vitesse révolutive.

Il arrive souvent que sous l'influence de la cause polarisante le mouvement de précession ne s'arrête pas tout court, il est

(1) L'hélioscope Porro en est la démonstration expérimentale la plus frappante. (Voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* tome XLVI, page 1032.)

seulement troublé, il cesse seulement d'être uniforme; la vitesse suivant laquelle il procède présente alors des *maxima* et des *minima* dans deux directions fixes généralement rectangulaires : cette modification du mouvement correspond à ce qu'on a coutume de désigner sous le nom de lumière *partiellement* polarisée (1).

3°. Généralement, dans la lumière *naturelle* de toutes provenances, il arrive que des *minima* et des *maxima* d'amplitude coïncident périodiquement avec des vitesses révolutives déterminées.

Quand alors la lumière traverse un prisme ou un réseau qui a la propriété de changer la direction du front de l'onde d'une quantité qui varie avec la vitesse révolutive, le spectre coloré qui en résulte est sillonné transversalement par des lignes sombres ou des lignes lumineuses : telles sont les raies du spectre solaire connues sous le nom de Fraüenhoffer, et les lignes lumineuses qu'on retrouve en pareil cas dans la lumière qui provient de la combustion des métaux. Ces raies sont dues à des récurrences entre les variations périodiques de vitesse révolutive et d'intensité en vertu desquelles des *minima* et des *maxima* d'intensité reviennent périodiquement avec des vitesses révolutives toujours les mêmes.

Ce serait là un caractère parfaitement certain pour diversifier et pour reconnaître les différentes sources lumineuses, si la nature des milieux interposés n'y apportait jamais de modification.

4°. La lumière qui nous provient des étoiles ne diffère pas seulement de la lumière solaire par les raies du spectre qui en résulte, elle en diffère encore par cette particularité, que la durée des périodes relatives à la variation de vitesse révolutive

(1) Ici, comme pour la prétendue simultanéité des couleurs dans la lumière dite *composée* (*voir* note (2), page 23), on doit remarquer que *tout* le mouvement éthéré avec *toutes* ses particularités *actuelles* doit nécessairement et continuellement passer par la molécule que nous considérons; or une même molécule ne peut pas obéir à la fois à deux mouvements différents, l'un de l'espèce dite polarisée, l'autre non polarisée. On remarquera encore que dans un même front d'onde toutes les molécules doivent se trouver au même instant dans la même *phase*, par conséquent il ne peut pas y avoir telle molécule obéissant à un mouvement dit polarisé, tandis que sa voisine obéit à un mouvement non polarisé, ainsi qu'on est forcé de l'admettre dans l'ancienne théorie pour ce qu'on appelle sans raison un *mélange* de lumière *naturelle* et de lumière *polarisée*.

et à la variation d'intensité diffère peu de la durée de l'impression sur la rétine : c'est là la cause de la scintillation soit *chromatique,* soit d'*intensité*, ainsi qu'on le démontre expérimentalement d'une manière certaine au moyen de l'ingénieux appareil à oculaire tournant de M. de Montigny (1).

La scintillation est un phénomène commun à toutes les sources de lumière connues, mais la durée des périodes de variation de l'amplitude et de la vitesse orbitaire n'est appréciable à nos sens, même avec l'appareil Montigny, que pour les étoiles; si l'on pouvait imprimer à cet appareil une assez grande vitesse, il nous montrerait la scintillation partout où il y a de la lumière.

Toutes ces variations périodiques du mouvement éthéré doivent intéresser vivement les photographes qui peuvent espérer d'y trouver l'explication de différents phénomènes encore incompris de la photographie. Mais revenons au point essentiel qui nous reste à traiter relativement à la théorie des objectifs : la *dispersion.*

§ 2. — *Explication de la dispersion. Manière de la mesurer. Détermination des constantes caractéristiques des milieux employés dans la construction des objectifs.*

On désigne sons le nom de *dispersion* la décomposition de la lumière en couleurs par le prisme ou par les réseaux.

Fraüenhoffer avait espéré que, les indices de réfraction étant mesurés pour toutes ou pour les principales raies sombres du spectre, et pour chacune des deux matières (flint et crown) qu'il se proposait d'employer à la construction de ses objectifs, ces mesures lui fourniraient avec beaucoup d'exactitude les données du calcul des courbures. Amère déception dont nous ne retracerons pas l'histoire bien connue des opticiens. Nous dirons seulement que si, après avoir mesuré les indices à la manière de Fraüenhoffer pour deux substances (un flint et un crown par exemple), on construit par coordonnées rectangulaires la ligne géométrique qui résulte en portant sur l'axe des x les indices donnés par le flint et sur l'axe des y leurs ho-

(1) On construit à l'Institut Technomatique, pour le même objet, un appareil à prisme tournant, facilement adaptable à toutes les grandes lunettes astronomiques.

mologues donnés par le crown pour les principales raies du spectre, on obtient une ligne très-sensiblement courbe.

Si, au contraire, on produit expérimentalement sur le polyoptomètre cette même ligne par le phénomène bien connu dit des prismes croisés de Newton, on obtient une ligne rigoureusement droite.

La théorie mathématique du mouvement lumineux donnée par Cauchy est de nature à nous éclairer sur cette contradiction apparente et à nous faire connaître la vérité.

En partant des principes généraux de la mécanique appliquée au mouvement des molécules du fluide éthéré, et indépendamment de toute idée de lumière et de couleur, c'est-à-dire en ne considérant dans le mouvement lumineux que les éléments des orbites infiniment petites décrites par les molécules de l'éther autour de leur point de repos, et ceux de la transmission du mouvement de molécule à molécule, Cauchy est arrivé à exprimer analytiquement la vitesse de propagation dans un milieu quelconque en fonction des puissances d'ordre pair et ascendantes, des *nombres réciproques* de la longueur d'onde et de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide (1).

Cauchy a démontré, de plus, que dans le développement auquel il est parvenu, les coefficients des termes contenant les puissances de $\frac{1}{\lambda}$ supérieures à la deuxième sont très-petits, que partant ces termes sont négligeables. La théorie de Cauchy conduit à l'expression très-simple donnée par Beer (2)

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} \tag{a}$$

dans laquelle μ représente l'indice de réfraction ou le rapport des vitesses de propagation de la lumière dans le vide et dans le milieu donné; A, B sont des constantes qui ne dépendent que de la nature des milieux.

---

(1) Pour être conforme au langage adopté dans ce Mémoire, il faudrait écrire ici, au lieu de la longueur d'ondulation λ, la durée T de la révolution de la molécule dans son orbite; mais comme cela ne changerait que la valeur des constantes, on a mieux aimé laisser les expressions communément reçues et employées par Cauchy.

(2) Page 175 de la traduction par Forthomme.

Différentiant l'expression ci-dessus par rapport à μ et à λ considérées comme variables, il vient

$$(b) \qquad d\mu = -\frac{2B\,d\lambda}{\lambda^3}.$$

Pour un autre milieu dont l'indice serait μ_1 et les constantes seraient A_1, B_1, on aura également

$$(c) \qquad d\mu_1 = -\frac{2B_1\,d\lambda}{\lambda^3},$$

et divisant une équation par l'autre, on aura

$$\frac{d\mu}{d\mu_1} = \frac{2B}{2B_1} = \text{constante.}$$

C'est donc le polyoptomètre qui dit la vérité, puisqu'il donne expérimentalement une ligne droite telle que la théorie ci-dessus la représente. La tangente trigonométrique de l'inclinaison qu'affecte cette ligne droite et que le polyoptomètre mesure, n'est autre chose que le véritable rapport des dispersions des milieux comparés.

L'analyse fait donc justice de la *prétendue irrationnalité* de la dispersion; elle prouve surabondamment, d'accord ici avec l'expérience, que la détermination du rapport des dispersions des couleurs ne peut pas se baser sur les raies du spectre, dont la distribution dans les couleurs subit des changements dépendants de la nature du prisme employé.

Ce n'est pas à dire que les spectres secondaires, qu'on a attribués dans l'ancienne théorie à la prétendue *irrationnalité* de la dispersion, n'existent pas, mais seulement qu'il faut en chercher la cause ailleurs. L'application de la méthode exposée dans les chapitres précédents conduit à la détermination exacte de leurs dimensions et de leurs couleurs dans tous les cas et pour toutes les substances; elle se trouve au surplus pleinement confirmée par l'expérience.

Cette analyse très-simple réduit aussi à sa juste valeur l'idée que les photographes doivent se faire de la non-coïncidence du foyer chimique et du foyer visuel; celle-ci n'a d'autre cause que l'imperfection de l'achromatisme calculé d'après les raies du spectre : elle n'existe pas pour les objectifs calculés d'après les mesures faites au polyoptomètre.

§ 3. — *Détermination des constantes caractéristiques de la valeur optique des verres.*

Si sur le polyoptomètre on combine un prisme avec un réseau et si on réduit la fente à un simple point lumineux, les spectres linéaires qui en résultent affecteront des courbures hyperboliques dont la loi des tangentes s'obtient en divisant par $d\lambda$ l'équation (b), ce qui donne

$$(d) \qquad \frac{d\mu}{d\lambda} = \frac{2B}{\lambda^3};$$

d'où l'on tire encore

$$(e) \qquad B = \frac{d\mu}{d\lambda} \cdot \frac{\lambda^3}{2}.$$

L'angle dont la tangente est représentée par l'expression (d) pour un point quelconque de la courbe sera donné sur l'instrument par le cercle de position du micromètre; la longueur d'ondulation λ correspondante se trouve déterminée en fonction de l'espacement des lignes du réseau et de la mesure micrométrique de la distance du point considéré au spectre rectiligne vertical central; finalement l'angle de déviation du front de l'onde produit par le prisme sur le point considéré du spectre se trouvant mesuré en même temps au cercle vertical de l'instrument, on aura du même coup tous les éléments nécessaires pour calculer par les formules connues la valeur de μ en fonction de cette quantité et de l'angle réfringent du prisme mesuré d'avance sur le même instrument.

Les valeurs de λ et de $\frac{d\mu}{d\lambda}$ ainsi trouvées, introduites dans l'équation (e), donneront la valeur de B; celle-ci et les valeurs de λ et de μ directement déterminées permettront de déterminer A au moyen de l'équation (a).

En répétant l'observation pour un grand nombre de points marqués, ou non, par des raies sur le spectre curviligne considéré, on peut obtenir une série régulière de valeurs des constantes A et B, qui permettra de vérifier d'une manière certaine si la loi de Cauchy sur la dispersion telle que nous l'avons admise est vraie, et s'il est réellement permis de négliger dans tous les cas les termes qui contiennent les puissances de λ supérieures à la seconde.

Au point de vue de la construction des objectifs, les constantes A et B caractérisent, optiquement parlant, la substance soumise à l'expérience. La constante A permettra de fixer par des mesures précises la *valeur optique* de la substance considérée sous le rapport de son pouvoir réfringent, la constante B permettra d'apprécier la même matière sous le rapport de son pouvoir dirimant.

§ 4. — *Resumé et conclusions qu'on peut tirer de ce qui précède au point de vue du perfectionnement des objectifs.*

Résumant enfin en peu de mots le contenu de ce Mémoire, au point de vue pratique, nous concluons que, pour faire de bons objectifs et en général de bons instruments d'optique quelconques, il faut :

1°. Mesurer exactement au polyoptomètre, et pas autrement, le pouvoir réfringent et le pouvoir dirimant des matières qu'on se propose d'employer, sans tenir compte de la distribution des raies du spectre ;

2°. Calculer *approximativement* par les formules élémentaires de l'optique les courbures convenables et arriver ainsi à une *ébauche de projet ;*

3°. Appliquer la méthode indiquée dans le deuxième chapitre à la recherche des corrections à apporter aux courbures approchées pour arriver au but qu'on se propose ;

4°. Vu que *l'irrationnalité de la dispersion* n'existe pas en tant qu'achromatisme, que partant elle n'est pas la cause de la discordance des foyers visuels et chimiques en photographie, ni des spectres secondaires en astronomie, il convient de rechercher par l'application de la méthode exposée dans le deuxième chapitre les causes des spectres secondaires dans la proportion des courbures et dans les épaisseurs des verres, et de modifier ces éléments de manière à concilier la tolérance qu'on peut se permettre à cet égard avec celle qu'on peut se permettre sur les aberrations de sphéricité ;

5°. Pour obtenir une coïncidence satisfaisante du foyer chimique avec le foyer visuel, il n'y a qu'à apporter le plus grand soin à remplir les conditions de l'achromatisme aussi exactement que possible ;

6°. Quant aux limites de ce qu'on peut tolérer sur les deux

aberrations et sur la déformation qui ne peuvent, dans aucun cas, être entièrement détruites, il est désirable que les astronomes et les photographes s'occupent d'expériences précises pour les fixer, afin de fournir aux opticiens le point de départ indispensable à l'établissement de leurs calculs.

Subsidiairement, nous ajouterons qu'une étude complète de la science photodynamique peut conduire à l'explication de tous ces mystérieux effets photochimiques imprévus qui jettent encore tant d'incertitude dans la pratique de la photographie.

§ 5. — *Exemple d'un objectif panoramique très-singulier calculé d'après la méthode développée dans ce Mémoire applicable à la géodésie.*

L'objectif photographique le plus singulier qui ait été produit jusqu'à ce jour, objectif qu'on eût cru impossible sans les révélations auxquelles conduit l'application des méthodes de calcul exposées dans le deuxième chapitre, consiste en un objectif panoramique composé de deux flints et d'un crown qui permet d'obtenir la vue panoramique rigoureusement exacte dans une étendue de 125 degrés d'un seul coup, par conséquent le tour entier de l'horizon en trois coups. Dans cet objectif, les flints sont ménisques et assez épais. L'objectif est placé au centre de l'appareil; deux cylindres latéraux permettent de garnir l'instrument d'une longue bande de papier sensible qu'on peut employer successivement sans jamais avoir besoin d'ouvrir l'instrument durant toute la journée.

Muni de boussole, de niveau et de vis calantes, cet instrument, représenté *fig.* 1, est applicable au levé rapide des plans et aux nivellements; il constitue un puissant auxiliaire du tachéomètre, et donne même à lui seul, pour les levés militaires, les moyens de faire très-rapidement le levé le plus complet d'un pays. Tout le monde sait en effet comment deux perspectives, prises des extrémités d'une base connue, étant données, on peut construire le plan et le relief du terrain; si à cela on ajoute des jalons de hauteur connue, placés dans les principaux points du levé et dont la grandeur des images résultantes sera inversement proportionnelle aux distances, on aura même d'une seule station le moyen de construire le plan

et le relief du terrain d'après la perspective panoramique donnée par l'instrument.

Pour se mettre à l'abri des altérations que pourrait subir le dessin photographique dans les bains révélateurs et fixateurs, on a divisé en quadrillés de grandeur connue, gravés sur verre, la surface cylindrique sur laquelle le papier s'applique; ce quadrille se produit identiquement sur toutes les images.

Le papier préparé au collodion sec ou bien à l'albumine paraît éminemment propre à cet usage, parce qu'il conserve longuement sa sensibilité et n'exige aucune manipulation sur le terrain.

Un instrument accessoire de cabinet, que nous ne décrirons pas ici, permet de convertir les résultats en nombres directement applicables aux calculs de la surface agraire des terrassements.

CHAPITRE IV.

MACHINE POUR DÉMONTRER FIGURATIVEMENT DANS LES COURS D'ENSEIGNEMENT LES PHÉNOMÈNES DE PHOTODYNAMIE PRÉCÉDEMMENT INDIQUÉS.

---

§ 1. — *Description de la machine.*

La difficulté de bien faire comprendre, dans les cours d'enseignement, les phénomènes de photodynamie tels qu'ils se passent dans la nature, se fait surtout vivement sentir lorsque, n'ayant pas le courage de s'affranchir des anciennes idées, le professeur essaye de constituer physiquement ce qu'on appelle vulgairement *un rayon de lumière;* il en est alors à enchevêtrer entre elles arbitrairement d'innombrables hélices de différents pas et de différentes origines, et à enfiler, comme des perles sur un fil, les molécules d'éther pour n'arriver qu'à des compositions poétiques beaucoup plus propres à représenter un fagot de lierre que le prétendu rayon lumineux qui n'existe pas.

On a cru répandre quelques lueurs dans ce ténébreux dédale au moyen de perles enfilées réellement, non sur un fil continu, mais sur une suite d'aiguilles qu'une coulisse ondulée élève et

abaisse en guise de marionnettes, pendant qu'une autre coulisse parallèle à la première, mais ondulée dans un autre plan, les transpose à droite et à gauche.

Par ces deux moyens, agissant ensemble ou séparément, les perles se rangent en hélices planes ou en hélices cylindriques à base circulaire ou elliptique, et donnent l'idée de la propagation du mouvement lumineux monochromatique polarisé, il n'en ressort aucune, ou du moins aucune de plausible, de la nature du mouvement qui correspond à la lumière *naturelle*.

Représenter par un point lumineux unique une molécule unique prise sur le front d'une onde lumineuse telle qu'elle se présente à un observateur qui oppose son œil à la direction de la propagation, faire exécuter à ce point lumineux toutes les évolutions qu'exécute dans l'espace une molécule éthérée quand la lumière est naturelle ou quand elle est affectée des différentes espèces de polarisation, c'est le but que remplit la machine dont la description suit.

Un collimateur *a*, formé d'un objectif *d* et d'un petit verre achromatique *b*, est disposé de manière que ce dernier verre produit au foyer *c* une image très-petite et très-brillante de la portion que découpe dans la flamme d'une bougie un diaphragme-module percé d'un très-petit trou et placé en *e* : les longueurs focales et les distances sont réglées de manière que la lumière émanée du point *c*, considéré comme point lumineux, sort de l'objectif en ondes planes et se dirige vers la lunette d'observation *hik*.

Cette lunette est réglée de manière qu'une image du point lumineux *c* se forme au foyer *i* et peut être observée par l'oculaire *k*, ou bien projetée sur un écran à distance en substituant à l'oculaire *k* un verre achromatique convenable, et à la bougie la lumière électrique ou la lumière solaire.

Entre les objectifs de ces deux parties de l'instrument se trouvent trois prismes à réflexion totale dont les faces hypoténuses sont parallèles à l'axe optique du système, et dont les arêtes projetées sur un plan quelconque passant par l'axe optique du système se trouvent à angle droit avec ce dernier. Dans chacun de ces prismes le front de l'onde subit deux réfractions et une réflexion, et en ressort normal à l'axe optique du système pour entrer de la même manière dans le

prisme suivant, et en sortant du troisième prisme, dans la lunette. Les deux premiers prismes sont orientés de telle manière, que, projetés sur un plan normal à l'axe optique du système, les arêtes de l'un y tombent normalement sur les arêtes de l'autre; les tubes contenant les deux prismes sont montés sur deux axes parallèles aux arêtes des prismes, qui leur permettent d'osciller dans une certaine amplitude autour de leur centre de figure dans le plan de leur section principale.

Le troisième prisme est disposé de manière qu'il peut tourner d'un mouvement continu autour de l'axe optique du système qui passe par son centre de figure.

Un axe rotatif matériel creux AK, placé au-dessous de ce système, porte en E et en F deux disques tournant solidairement avec lui, mais susceptibles de s'incliner d'une certaine quantité et creusés sur tranche d'une rainure, dans laquelle glisse une petite sphère d'acier formant le bouton d'une manivelle fixée à l'axe de montage de chaque prisme.

En G est un pignon avec une roue *rr*, laquelle en tournant lentement imprime au prisme *g* un mouvement de rotation; ce mouvement peut être à volonté engrené ou dégrené.

Deux boutons de vis ε, φ agissant sur un mécanisme intérieur à l'axe AK permettent de faire varier ensemble ou séparément l'inclinaison des disques E, F.

La machine étant en repos, mais disposée pour les expériences, on apercevra par l'oculaire K au centre du champ le point lumineux représentant une molécule éthérée.

Si, les disques E, F étant dans la position normale à l'axe et le pignon G étant dégrené, on imprime le mouvement, aucune action ne se produit, le point lumineux représentant la molécule éthérée reste immobile; mais si en agissant sur le bouton ε on incline le disque E, on produira évidemment sur le prisme *e* un mouvement d'oscillation qui aura pour effet de faire décrire au point lumineux, dans le champ d'observation, une ligne droite suivant un mouvement alternatif satisfaisant aux conditions du mouvement elliptique quand, dans l'ellipse, l'un des axes est nul.

Si maintenant au moyen du bouton φ on incline le disque F, pareil mouvement d'oscillation se produira à l'angle droit avec le premier, et en vertu de ces deux mouvements combinés le point lumineux décrira une ellipse qui deviendra un cercle

quand les inclinaisons des deux disques seront devenues égales ; qui redeviendra une ellipse, puis une ligne droite, puis encore une ellipse lévogyre (si la première était dextrogyre) quand par l'effet des deux boutons ε, φ l'un des deux disques reprendra une inclinaison moindre, puis nulle, puis contraire ou *négative*.

Engrenons finalement le pignon G; alors le prisme *g* commençant à tourner fera tourner lentement sur elle-même l'image focale par rapport à un diamètre fixe du champ, et produira cette variation périodique que nous avons désignée du nom de *précession*.

On peut ajouter à cette machine, en l'interposant entre le diaphragme-module *a* et la bougie, un prisme réfringent animé lui aussi d'un mouvement convenable pour faire tomber successivement sur le diaphragme-module toutes les couleurs du spectre, et relié par l'action d'un régulateur à force centrifuge à un appareil capable de faire varier d'une manière périodique, dans les limites correspondantes, la vitesse de révolution du moteur A K.

On peut encore ajouter un mécanisme qui imprime, aux disques E, F une variation périodique d'inclinaison, suivant les lois de la variation d'amplitude propres aux différentes sources lumineuses, effet qu'on obtient facilement au moyen des courbes subsidiaires convenablement taillées.

On peut ajouter enfin deux prismes de Nichol entre la source de lumière et le diaphragme-module, dont un rotatif comme le prisme *g*, mais dont le mouvement soit dépendant de celui des boutons ε, φ. Cette addition fera varier l'intensité lumineuse avec l'amplitude des oscillations; il sera réglé de manière qu'il amène une extinction quand les deux disques sont à la fois normaux à l'axe A K, c'est-à-dire quand, dans leurs variations, les deux amplitudes passent ensemble par le zéro.

La machine ainsi disposée permettra de donner la démonstration *figurative* de toutes les combinaisons des variations périodiques du mouvement éthéré moléculaire dont il a été question dans le chapitre III, moins la libration, qui du reste n'entre pour rien dans la production des phénomènes lumineux.

3.

§ 2. — *Mode d'expérimentation.*

La machine étant convenablement disposée, toutes les parties dont elle se compose étant engrenées, on aura dans le champ d'observation un point lumineux, qui décrit une orbite elliptique périodiquement variable d'amplitude dans les deux sens, ainsi que de vitesse révolutive et d'orientation par rapport à un diamètre fixe du champ. La vitesse révolutive agissant sur le régulateur centrifuge et celui-ci sur le prisme réfringent, on verra la couleur du point lumineux changer périodiquement, et ce changement aller et revenir rapidement par toutes les couleurs du spectre.

Le mécanisme qui agit sur les disques E, F produira des variations périodiques d'amplitude dans les deux sens, et le prisme de Nichol produira les variations correspondantes d'intensité et des extinctions qui reviendront périodiquement avec certaines vitesses révolutives et partant avec des couleurs déterminées.

Le prisme *g* tournant produira la précession ; l'espace dans le champ d'observation, sur lequel une période entière de l'ensemble de toutes les variations s'accomplira, sera circulaire.

Si les vitesses qui ont lieu dans la machine pouvaient être extrêmement grandes, la sensation qu'on éprouverait serait la même que celle que nous fait éprouver la lumière blanche *naturelle;* mais ces vitesses étant au contraire très-petites comparativement au vrai et telles, que nos sens peuvent en distinguer toutes les périodes, on pourra se former une idée exacte de toutes les combinaisons des phénomènes tels qu'ils se passent dans la nature.

L'espace dans le champ de vision sur lequel s'accomplit une évolution complète de toutes les périodes est circulaire, avons-nous dit. Ceci concorde avec la diction un peu barbare, mais juste au fond, par laquelle quelques savants expriment la différence entre la lumière *naturelle* et la lumière *polarisée,* en disant que dans la lumière naturelle *le rayon n'a pas de côtés*.

Arrêtons maintenant le pignon *g* : aussitôt le mouvement de précession cessera, aussitôt on pourra dire, dans l'acception ci-dessus, que le rayon a *des côtés;* et si en même temps nous arrêtons le mouvement en vertu duquel l'amplitude varie,

la machine présentera le mouvement de la molécule éthérée tel qu'il a lieu dans la polarisation circulaire, elliptique ou rectiligne, suivant qu'au moment de l'arrêt de ce mécanisme les deux amplitudes se trouvaient égales ou inégales, ou bien l'une d'elles nulle.

On voit déjà, sans plus d'explication, que les nombreuses combinaisons possibles des variations de la vitesse révolutive combinées avec l'arrêt de la précession permettront de représenter tous les phénomènes de la polarisation chromatique.

Cette machine n'a pas pour but, on le voit, de *démontrer* l'exactitude de la théorie; elle a pour but de *figurer* les phénomènes photodynamiques tels qu'ils ont lieu dans la nature, afin d'en faciliter l'enseignement.

Cette machine ne montre pas non plus comment la propagation a lieu, mais ce rôle facile est suffisamment rempli par les machines connues dont celle-ci n'exclut pas l'usage, son rôle étant de représenter la partie des phénomènes photodynamiques que les autres machines ne peuvent pas représenter; elle complète le cabinet de physique du professeur sans en exclure aucune des machines existantes.

CHAPITRE V.

CE QUE C'EST QUE L'ÉTHER, L'ÉLECTRICITÉ, SA VITESSE.

---

§ 1er. — *Ce que c'est que l'éther.*

Dans un intéressant Mémoire sur les télégraphes électriques, lu au Cercle de la Presse scientifique, M. Martin de Brett a signalé bien à raison, comme dignes d'une étude sérieuse, les problèmes qui se rapportent à la vitesse de l'électricité. La solution est en effet de la plus haute importance, non-seulement parce qu'il est question aujourd'hui de faire en cinq ou six portées le tour entier du globe, mais encore en raison des importantes applications scientifiques qui en seraient faites à l'astronomie, à la géodésie et à la marine.

La vitesse de l'électricité transmise par les fils conducteurs n'a encore été déterminée que par des expériences peu concluantes; la théorie de son côté n'a encore rien dit de positif, et bien qu'on ait exprimé par des formules mathématiques

l'influence des courants entre eux d'après des hypothèses plus ou moins contestables, il n'en est pas moins vrai que la nature intime de cet impondérable est encore, pour beaucoup de physiciens, parmi les secrets de la création.

L'étude comparative des quatre impondérables, *lumière*, *chaleur*, *électricité*, *magnétisme*, a conduit cependant déjà la généralité des physiciens à admettre l'identité des deux derniers; d'un autre côté il y a une tendance à admettre aussi la presque identité des deux premiers, à admettre même que si les quatre impondérables ne sont pas une seule et même chose, ils ne diffèrent que par le mode de manifestation d'un phénomène unique qui en est l'origine commune, mais qu'on hésite néanmoins à définir. Ce phénomène n'est autre que le mouvement évolutoire (1) infiniment petit des atomes de la matière. Ces manifestations ne sont que des particularités coexistantes de ce même mouvement.

Déjà en effet pour la lumière il est démontré qu'elle n'est pas par elle-même un fluide pondérable ou non, elle est le résultat d'un certain mode de mouvement infiniment petit, des atomes d'un fluide infiniment subtil (l'éther), qu'on suppose remplir à la fois l'espace indéfini et les espaces intermoléculaires de tous les corps de la nature.

Déjà même on est allé plus loin; déjà quelques physiciens, se sentant mal à l'aise avec ce fluide hypothétique, admettent avec nous que l'éther n'est autre chose que la matière à l'état de la plus extrême diffusion : les nébuleuses et les comètes n'en sont probablement que des états différents intermédiaires entre l'extrême diffusion et l'état gazeux. Le physicien italien abbé Zantedeschi, par exemple, pense que la création tout entière consiste en

Materia che si discreta, e materia che si concreta.

Si cela était admis, on n'aurait plus besoin de créer un peu arbitrairement un *éther* avec les autres hypothèses dont on l'accompagne; les atomes matériels avec les forces d'attraction et de répulsion que tous les physiciens admettent suffiraient à tout expliquer. Il ne répugne nullement à la raison d'admettre

(1) C'est à dessein que nous substituons le mot *évolutoire* au mot *vibratoire* peu propre à indiquer la circulation continue dans une orbite fermée.

que les atomes qui constituent les corps gazeux, liquides, solides, n'ont point perdu, en passant de l'état d'extrême diffusion à ces différents états plus ou moins concrets, la faculté d'obéir aux lois du mouvement évolutoire infiniment petit dans toutes les particularités dont il est susceptible.

Nous voyons en effet palpablement le son faire décrire, à toutes les molécules des corps les plus solides et les plus denses, des vibrations dont l'amplitude, quoique relativement très-petite, est bien autrement grande que celle qu'exige le mouvement infiniment petit d'où résulte la lumière.

A fortiori par conséquent on peut admettre que dans tous les corps, même les plus denses, les atomes simples conservent au milieu du lien qui les unit une liberté de mouvement assez grande pour satisfaire aux conditions de cette dernière espèce de mouvement.

Il est au contraire bien difficile de comprendre comment l'éther hypothétique infiniment subtil, interposé aux molécules et aux atomes des corps matériels, peut obéir régulièrement au mouvement lumineux sans éprouver d'autre perturbation qu'une diminution dans la vitesse de propagation. Il serait même plus facile de prouver que cela est impossible.

La lumière est presque toujours accompagnée de chaleur, et nul ne peut dire que la chaleur *obscure* n'est pas accompagnée d'une lumière très-faible ou plus probablement d'un mouvement que j'appellerai *lumineux* pour en indiquer la nature, mais dans lequel la vitesse orbitaire ne serait pas comprise dans les limites étroites de la sensibilité de la rétine humaine (mouvement sensible peut-être sous forme de lumière pour la rétine de quelque autre être vivant), c'est-à-dire que les vitesses orbitaires et partant les longeurs d'ondulation de ce mouvement correspondraient dans le spectre solaire à des couleurs invisibles pour nous, au-dessous de l'extrême rouge ou au-dessus de l'extrême violet, couleurs dont l'analyse mathématique révèle l'existence.

Il est connu, d'autre part, que de l'électricité accompagne toujours la lumière et la chaleur, et réciproquement, ainsi que le prouvent un grand nombre de phénomènes connus.

Si donc, à un même instant donné, un même atome en mouvement doit nous montrer et nous transmettre des phénomènes de lumière, de chaleur et d'électricité, ces trois ordres de phé-

nomènes doivent se trouver dans des particularités coexistantes du mouvement dont cet atome est animé.

Il est admis et démontré que le mouvement évolutoire elliptique infiniment petit avec ses variations périodiques produit tous les phénomènes connus de la lumière et de la chaleur, mais que si on rapporte le mouvement elliptique dont il s'agit à trois axes coordonnés, dont le troisième, celui des z, soit dans la direction de la propagation, les phénomènes de lumière ne sont dus qu'aux composantes en x et en y, tandis que la chaleur est due à la composante longitudinale en z, qui seule donne lieu à des variations alternatives de densité dans l'éther.

On a vu aussi comment il se fait que, sous l'influence des milieux à travers lesquels le mouvement se propage et se modifie, la lumière et la chaleur présentent les phénomènes que nous connaissons sous le nom de réfraction, de réflexion, de polarisation, et on a pu comprendre comment les corps cristallisés, par exemple, dans lesquels le mode de structure moléculaire, et partant l'élasticité, est différent dans différentes directions, peuvent modifier le mouvement, exalter, affaiblir ou éteindre, reproduire même en sens contraire quelqu'une de ses composantes ou quelqu'une de ses variations périodiques.

La lumière et la chaleur peuvent donc coexister; elles ne peuvent se propager qu'avec une seule et même vitesse, parce que la lumière et la chaleur ne sont qu'une seule et même chose; elles sont le résultat de deux particularités d'un seul et même mouvement, particularités qui peuvent varier ensemble ou séparément.

§ 2. — *L'électricité.*

Considéré dans toute sa généralité, le mouvement évolutoire infiniment petit des atomes matériels présente une autre particularité qui n'a été que mentionnée dans le chapitre III, page 21, et qui consiste en ce que, tout en parcourant son orbite elliptique, chaque atome tourne rapidement sur lui-même suivant un axe généralement incliné sur le plan de l'orbite. L'inclinaison de cet axe et la vitesse relative sont elles-mêmes passibles de variations périodiques dépendantes de la nature du phénomène excitateur, et de modifications qui dérivent de la nature des milieux à travers lesquels le mouvement se propage. On se souvient que dans la théorie de la lumière

le mouvement orbitaire peut être tour à tour dextrogyre ou lévogyre; il en est de même de la rotation de chaque atome sur lui-même.

Cette particularité complexe du mouvement général des atomes matériels qui peut varier soit indépendamment, soit en connexion avec les deux autres, se trouve très-propre à expliquer tous les phénomènes électriques; mais c'est là une longue étude à faire et des travaux analytiques à entreprendre qui ne pourraient trouver place dans ce Mémoire.

§ 3. — *Vitesse de l'électricité.*

Ainsi ramenée rationnellement à une simple particularité du mouvement général évolutoire des atomes matériels, l'électricité doit subir comme la lumière et la chaleur, à travers les milieux où le mouvement se propage, des modifications telles que réfractions, réflexions, polarisation, extinction, etc.; mais la vitesse de propagation dans un milieu indéfini quelconque doit nécessairement être la même que pour la lumière et pour la chaleur, puisque c'est le même mouvement qui se propage. L'objection qu'on pourrait tirer de ce que la vitesse apparente de la chaleur sensible au thermomètre dans les corps solides semble très-petite comparativement à celle de la lumière n'est que spécieuse. Il ne faut pas confondre la vitesse de progression de la modification thermométrique avec la vitesse de propagation de la chaleur sous la forme qu'on a appelée jusqu'ici *rayonnante*.

On se rappelle que ce qu'on a coutume de nommer *réfraction* n'est autre chose qu'une variation de la vitesse de propagation; le changement de direction du front de l'onde ou de sa normale, le *rayon*, n'est que la conséquence de la variation de la vitesse de propagation qui a lieu quand la densité ou la nature du milieu varie soit subitement, soit graduellement. L'indice de réfraction n'est autre chose que le rapport entre la vitesse de propagation dans l'espace vide de matière tangible et la vitesse de propagation dans le milieu donné.

On sait qu'il y a des moyens en optique pour déterminer l'indice de réfraction des corps opaques y compris les métaux, et que cet indice pour les métaux est très-élevé.

La vitesse de propagation du mouvement évolutoire dans l'espace vide de matière tangible étant connue, ainsi que l'indice de réfraction de la matière des fils télégraphiques, on peut calculer la vitesse théorique de propagation du mouvement et partant de l'électricité dans ces fils métalliques; mais cette *vitesse théorique* suppose que le milieu est indéfini et libre de toute traction ou pression longitudinale ou transversale, ce qui n'a pas lieu dans la pratique à beaucoup près pour les fils télégraphiques, dont la section est extrêmement petite comparativement à la longueur. De là des effets de diffraction, de polarisation et autres que la théorie seule arrivera à expliquer, l'expérience à vérifier.

Les modifications que la lumière subirait si on pouvait la transmettre le long d'un tube ou le long d'un fil de matière transparente, d'une très-petite section, de plusieurs milliers de kilomètres de longueur soumis à des pressions longitudinales et transversales comme un fil de télégraphe, n'ont jamais été étudiées ni théoriquement, ni expérimentalement. De pareilles recherches eussent été sans utilité au point de vue de la lumière, mais au point de vue de l'électricité elles sont au contraire de la plus haute importance; et si, d'une part, la connaissance profonde et positive que nous avons de la lumière nous permet d'entrer finalement par le bon côté dans l'étude de la nature intime de l'électricité, il n'est pas douteux qu'à son tour l'étude de l'électricité une fois accomplie sur ces nouvelles bases, nous fournira un complément très-intéressant de la théorie de la lumière.

Des expériences faites en Angleterre (1) sur des longueurs de câble électrique qui ont varié de 23,49 à 164,50 myriamètres, il serait résulté :

1°. Que la vitesse de propagation peut être regardée comme sensiblement uniforme, ainsi que l'indique la théorie ci-dessus, et non pas comme proportionnelle au carré de la distance, ainsi que l'auraient prétendu quelques physiciens modernes.

2°. La vitesse ainsi obtenue pour des fils à section limitée, soumise à un grand nombre de résistances et d'influences diffringentes que les éléments nous manquent pour apprécier, aurait été de 126 myriamètres par seconde. Si, comme il est probable, l'indice de réfraction du cuivre était à peu près égal

(1) Voir *Annales télégraphiques*, tome I, page 18.

à celui de l'argent, et si l'on admettait avec Mac-Cullagh pour cet indice le nombre 35, on trouverait que cette vitesse aurait dû être de 880 myriamètres par seconde : la vitesse obtenue n'aurait donc été que le 0,14 de la vitesse théorique.

La détermination électrique de la longitude entre Berlin et Bruxelles a permis de constater que l'électricité aurait parcouru la double ligne en 0″,36, et en admettant que la longueur du fil conducteur fût de 144 myriamètres, il en résulterait pour la vitesse de l'électricité dans le fil 400 myriamètres par seconde ou le 0,45 de la vitesse théorique calculée d'après l'indice de réfraction du cuivre admis dans le calcul précédent.

Nous ferons remarquer ici que, tandis que les physiciens se disputaient, il y a quelques années, pour savoir si l'indice de réfraction du mercure était 4,9 ou 5,8, tandis que Mac-Cullagh donnait 15 pour le mercure et 35 pour l'argent, Cauchy est venu leur affirmer que d'après sa théorie mathématique, et d'après les incidences principales et les azimuts principaux de réflexion de la lumière polarisée mesurés par Brewster, ces indices de réfraction ne seraient que 1,7 pour le mercure et 0,343 pour l'argent (1). Mais Cauchy a, suivant nous, fait erreur, et Mac-Cullagh est probablement dans le vrai; voici comment :

Quand le mouvement lumineux rencontre la surface de séparation d'un milieu où il se propage à un autre suivant où il va se propager, la vitesse ne change pas brusquement dans le rapport de $m : 1$, elle change graduellement, et le changement n'est complet qu'à une *profondeur très-petite mais finie* dans le second milieu quel qu'il soit. Cette profondeur est du même ordre de petitesse que la longueur d'ondulation, ainsi que le dit Cauchy lui-même; elle varie avec la nature des milieux.

En outre, le nouveau milieu réagit aussi sur la précession, sur la vitesse orbitaire et sur l'amplitude de l'orbite dans les deux sens : ces actions dépendent essentiellement de la constitution moléculaire du milieu, ainsi qu'on l'a vu précédemment en parlant de la polarisation.

Un corps ne paraît pas opaque seulement quand son action

---

(1) Ainsi la vitesse de propagation de la lumière serait dans l'argent trois fois plus grande que dans le vide; ce corps serait vraiment unique dans l'espèce? *Voir* Moigno, *Répertoire d'optique*, tome Ier, pages 52 et suiv.

amène *l'extinction,* ainsi que le pensait Cauchy, il paraît encore tel quand son action sur la vitesse orbitaire est de nature à rejeter celle-ci en dehors des limites du spectre solaire.

La profondeur *très-petite mais finie* variable avec la nature des corps, à laquelle tout changement est complet, ne figure dans le travail de Cauchy que pour le calcul des coefficients d'*extinction.* Cauchy n'a donc pas suffisamment distingué le phénomène de *surface,* la *réflexion,* du phénomène de profondeur, la *réfraction.* Évidemment les formules de Cauchy ne s'appliquent pas au cas général.

Nous ajouterons qu'il y a des corps dans lesquels quelques-unes des variations du mouvement atomique s'étendent à une profondeur illimitée : tels sont en effet, relativement à la précession, ceux qui font tourner le plan de polarisation ; tels sont relativement à la vitesse orbitaire ceux qui, vus par transparence, apparaissent d'une couleur qui varie avec l'épaisseur ; tels sont encore, relativement à l'amplitude de l'orbite dans les deux sens, ceux pour lesquels l'intensité seule varie avec l'épaisseur.

Il ne faut donc pas compter sur la méthode de Cauchy pour la détermination exacte de l'indice de réfraction des corps opaques : cette méthode est fondée sur les mesures d'angles résultant d'une action de surface, tandis que le rapport des vitesses de propagation qu'il s'agit de déterminer n'atteint toute sa valeur qu'à une certaine profondeur.

Cette profondeur, pour l'or et l'argent surtout, est même très-considérable, par rapport à la longueur d'onde, puisqu'on peut réduire ces métaux en feuilles assez minces pour être transparentes.

Il y a plus : si on examine la couleur de la lumière transmise à travers des feuilles de différentes épaisseurs, on arrive à se convaincre facilement que si ces corps sont opaques, c'est plutôt en vertu du second que du premier mode d'action sur la lumière, c'est-à-dire que le mouvement évolutoire se propage à travers ces corps, mais la vitesse orbitaire, variant jusqu'à un certain point avec la profondeur, arrive bientôt à sortir des limites du spectre solaire ; la lumière cesse alors d'être perceptible pour nous, nous jugeons alors que le corps est *opaque;* mais nous ne pouvons pas dire que le mouvement évolutoire ainsi modifié a cessé de se propager. Les images de

Moser et quelques autres phénomènes de cette espèce s'expliquent au contraire très-bien dans cette théorie, et peuvent être considérés comme des preuves expérimentales de son exactitude. Peut-être même la lumière émise suivant Reichenbach (le naturaliste) par les plantes et par tous les animaux, phénomène auquel peu de physiciens ont ajouté foi jusqu'à ce jour, trouve-t-elle ici son explication.

Le principe de la conservation des forces vives appliqué à la photodynamie permet d'établir que celle des particularités du mouvement qui vient à subir une réduction doit reverser son excédant de force vive sur une des deux autres, ou bien sur le milieu qui est cause de la modification : c'est ainsi que la lumière, la chaleur et l'électricité apparaissent parfois comme dérivant l'une de l'autre ou comme si elles se transformaient l'une dans l'autre sans changement physique ou chimique apparent du milieu; mais en général ces espèces de transformations sont accompagnées de changements au moins physiques plus ou moins prononcés du milieu, dus à la résistance que leur constitution intime oppose au mouvement évolutoire des atomes dont ils sont composés. Ainsi, par exemple, si les corps s'échauffent et si la chaleur devient sensible au thermomètre et à nos sens, ce n'est pas parce que ces corps transmettent le mouvement évolutoire, mouvement dont une des particularités, la *libration*, est la cause de la chaleur, c'est à cause de la résistance d'une nature particulière à chaque corps qu'ils opposent à ce mouvement de libration.

Ainsi une lentille comburante transmet durant longtemps presque sans s'échauffer toute la chaleur qui, au foyer, met en fusion des quantités considérables de métal, parce que la propagation du mouvement, en ce qui concerne la coordonnée z, a lieu presque sans résistance à travers la lentille de verre.

Il ne faut pas confondre la vitesse de propagation du mouvement évolutoire atomique avec la vitesse de propagation de la *chaleur sensible* dans les corps solides, ni avec la vitesse de propagation de l'électricité sous les apparences qui nous la révèlent; la chaleur ne devient sensible au thermomètre que par des phénomènes de dilatation, qui consistent en une translation finie des centres dynamiques due à l'action dirimante du mouvement évolutoire opposé à l'attraction agrégative atomique

et moléculaire, et par une accumulation lente et proportionnelle de la force vive, que *dépose* pour ainsi dire en passant rapidement et comme forcé le mouvement évolutoire. Ce travail, que la force attractive atomique tend sans cesse à détruire, ne peut procéder qu'avec une vitesse relativement infiniment petite, vitesse qui est probablement indépendante de la vitesse de propagation du mouvement évolutoire lui-même.

Un raisonnement semblable s'applique à l'électricité qui est en jeu dans tous les phénomènes chimiques.

Ainsi la vitesse de l'électricité, déduite de l'expérience de Greenwich citée plus haut, avec des moyens et dans des circonstances dont nous ne connaissons pas les détails, n'est que le résultat très-complexe d'un grand nombre de causes.

Il est permis de croire que la propagation de l'électricité a lieu dans les câbles télégraphiques en raison de la vitesse théorique ci-dessus déterminée; mais que sous l'action du corps conducteur lui-même il faut à l'électricité un certain temps pour revêtir l'apparence qui nous la fait reconnaître, pour acquérir dans toute la longueur du conducteur avec l'intensité nécessaire à la mise en action des appareils.

Dans la quatrième expérience de Greenwich, l'électricité aurait donc employé environ 2 centièmes de seconde à se propager jusqu'à l'extrémité du câble, et 12 centièmes de seconde à atteindre l'intensité nécessaire au jeu de l'appareil.

Dans le câble transatlantique, en calculant d'après ces données, on devrait trouver en comptant la longueur du câble réellement submergée pour 462 myriamètres :

1°. Temps nécessaire pour la propagation *théorique* du mouvement..........	0″,067
2°. Temps nécessaire à vaincre les résistances qui s'opposent à la manifestation..........................	3″,670
Total.....	3″,737

En admettant l'expérience de Berlin, ce temps ne serait que de 1″,155.

En comparant ce résultat à celui d'une autre expérience

anglaise (1) où, par la réunion de différentes lignes, on a pu établir le courant dans une longueur de câble de 402 myriamètres et obtenir néanmoins cinq à six signes par seconde, on arrive à la conclusion bien connue aujourd'hui, à savoir qu'on peut introduire dans le câble un certain nombre de signes qui se suivent sans se troubler et arrivent successivement à destination.

Il est regrettable que l'on n'ait pas observé le temps employé par un seul signe à parcourir cet immense circuit.

Ainsi qu'on le voit, la plus forte portion du temps est employée non à arriver, mais à acquérir l'intensité nécessaire : les hommes spéciaux feront donc bien de s'appliquer à la construction d'appareils de plus en plus sensibles, seul moyen d'arriver à accélérer la transmission des dépêches.

Quant à la détermination directe de ces vitesses, elle ne pourra se faire d'une manière concluante que lorsque la pose projetée d'un second fil à travers l'Océan permettra d'établir un circuit complet plus que double, ayant ses deux extrémités dans la même station; c'est alors, et alors seulement, qu'il sera possible de déterminer exactement la différence des longitudes de deux stations extrêmes par le moyen de l'électricité.

Déterminer analytiquement comment les parois du conducteur agissent sur le mouvement évolutoire et sur sa propagation; quelles modifications y apportent les pressions et les tensions auxquelles ce conducteur est soumis, les soudures, les coudes et autres causes connues ou à découvrir; étudier l'influence des mouvements de même nature, mais de sens inverse (les courants d'induction), qui se développent à travers les parois isolantes de l'enveloppe; découvrir de quelle manière agissent les parois pour isoler le mouvement transmis et transmettre néanmoins à distance un mouvement de tout point semblable, mais de sens opposé, de quelle manière le courant terrestre réagit sur le courant transmis, etc. : c'est à la fois un ensemble de problèmes de haute analyse, dignes d'exercer le talent des plus grands géomètres, de problèmes qui attendent du télégraphe transatlantique la part de solution que l'expérience faite sur une aussi grande échelle peut seule fournir.

---

(1) *Annales télégraphiques*, tome I, page 20.

S'il était vrai par exemple que dans le câble transatlantique la vitesse de transmission diffère de l'aller au retour, il y aurait lieu d'en rechercher la cause dans le courant terrestre, et ce serait là un commencement de donnée expérimentale que le câble transatlantique aurait permis de recueillir pour marcher vers la solution du problème que poursuivent avec M. Martin de Brett, beaucoup d'hommes éminents des deux mondes.

CHAPITRE VI.

BASES D'UNE THÉORIE *microdynamique* GÉNÉRALE COMPRENANT LA LUMIÈRE, LA CHALEUR ET L'ÉLECTRICITÉ.

Les raisonnements qui viennent de nous conduire à attribuer à des particularités distinctes et coexistantes d'un seul et même phénomène les trois impondérables, nous permettent maintenant de poser les bases d'une théorie microdynamique générale, d'après laquelle on peut espérer d'expliquer rationnellement et de soumettre à l'analyse mathématique tous les phénomènes de la lumière, de la chaleur et de l'électricité. Voici en quels termes elles peuvent être formulées.

1°. La matière à l'état d'*extrême diffusion* remplit l'espace infini; elle constitue ce qu'on a appelé l'*éther :* entre l'état *éthéré* et l'état gazeux, il y a peut-être des graduations intermédiaires de diffusion de la matière; les comètes et les nébuleuses en sont probablement des exemples.

2°. Dans tous les états de la matière, chacun de ses atomes élémentaires est susceptible de tourner sur lui-même avec une vitesse extrêmement grande, tout en décrivant autour d'un centre dynamique mobile ou immobile dans l'espace une très-petite orbite elliptique.

3°. Les éléments de ce mouvement évolutoire complexe infiniment petit sont soumis à des variations périodiques qui affectent :

La vitesse rotative de chaque atome;
L'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite;
L'amplitude de l'orbite dans les deux sens;
La vitesse de révolution orbitaire;

L'orientation des deux axes de l'ellipse;

L'inclinaison de son plan.

Ces variations périodiques ont pour cause principale l'influence mutuelle des atomes en mouvement, elles dépendent de la nature du phénomène excitateur qui a lieu à l'origine du mouvement, elles se modifient par la propagation à travers différents milieux.

4°. Excité dans un point de l'espace par une cause quelconque, le mouvement évolutoire complexe dont il s'agit se propage dans toutes les directions de proche en proche avec une vitesse uniforme très-grande, mais finie.

Il se propage en général à travers les agrégats de matière dans tous ses états éthérés, cométaire, gazeux, liquide, solide.

Mais la vitesse de propagation varie avec la densité des milieux à travers lesquels le mouvement se propage; les variations périodiques en sont affectées de différentes manières, suivant la nature et la constitution physique de ces mêmes milieux.

5°. Le centre dynamique du mouvement évolutoire de chacun des atomes peut obéir en même temps à des mouvements de *translation* dans toutes les directions et à toutes les distances quand les atomes font partie de la matière éthérée, ou à des distances de plus en plus petites, mais toujours finies, au fur et à mesure qu'ils appartiennent à des agrégats de plus en plus concrets.

Ce mouvement de translation a lieu, lorsqu'il y a changement, dans l'état physique ou chimique des corps. Sa vitesse de propagation est toujours beaucoup plus petite, mais indépendante de la vitesse de propagation du mouvement évolutoire.

6°. Si l'on décompose géométriquement, suivant trois axes coordonnés, le mouvement évolutoire et si un des axes, celui des z, est pris dans la direction de la propagation, par conséquent normal à ce qu'on a appelé le *front de l'onde* dans la théorie de la lumière (1), on trouve et on démontre analytiquement :

1°. Que les composantes x, y constituent seules les phénomènes de lumière;

---

(1) On sera étonné peut-être de voir qu'après avoir appuyé à la théorie des *ondulations* les raisonnements exposés dans les premiers chapitres de ce travail,

2°. Que la composante z, qui résulte de la *libration*, produit les phénomènes de chaleur;

3°. Que le mouvement rotatif des atomes se manifeste sous forme d'électricité;

4°. Que le mouvement de translation fini des centres dynamiques se rapporte à tous les changements physiques et chimiques des corps.

7°. Les causes qui peuvent engendrer le mouvement évolutoire des atomes dans les limites d'amplitude et avec tous les caractères et les variations périodiques que nous lui connaissons maintenant, se trouvent dans tous les phénomènes de la nature où il y a translation relative finie des atomes de matière dont le lieu de repos devient dès lors le centre dynamique du mouvement évolutoire : le mouvement de translation se traduisant nécessairement par un changement d'état physique ou chimique du milieu, on doit retrouver le mouvement évolutoire partout où il y a, pour le dire avec Zantedeschi,

Materia che si discreta, o materia che si concreta.

Réciproquement ce mouvement évolutoire des atomes qui se traduit à nos sens sous les formes de lumière, de chaleur, d'électricité peut, dans des conditions données d'exaltation, déterminer dans les milieux où il se propage le mouvement translatif fini des centres dynamiques, et partant des atomes en vertu duquel tous les corps de la nature se forment ou se décomposent, en vertu duquel la matière se *concrète* ou se *discrète*.

---

il ne soit plus question ici où nous concrétons nos idées, ni de *longueur d'ondulations*, ni de *front de l'onde*.

Néaumoins le lecteur qui aura suivi avec l'attention l'enchaînement de ces raisonnements, verra que les expressions usitées qui nous ont servi de véhicule à l'introduction des idées nouvelles, cessent d'avoir leur application, au moins dans le sens connu. Rien en effet, dans la réalité, ne ressemble à ce plissement ondulatoire qu'on a cherché de rendre par des machines plus ou moins ingénieuses.

Le front de l'onde ne sera désormais qu'une abstraction qui pourra tout au plus désigner la surface dans laquelle se trouvent tous les atomes atteints à un même instant par le mouvement. La longueur d'ondulation sera ce qu'elle était par rapport à ce qu'on appelait la *phase*. Mais ce sera une donnée inutile depuis que dans l'analyse comme dans le raisonnement il faut lui substituer, *mutatis mutandis*, la durée de la révolution orbitaire.

Table des nombres réciproques de la 1re chiliade à l'usage des Opticiens.

NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES	
directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.
0	∞	50	0,02000	100	0,01000	150	0,00666	200	0,00500
1	1,00000	51	0,01961	101	0,00990	151	0,00662	201	0,00497
2	0,50000	52	0,01923	102	0,00980	152	0,00658	202	0,00495
3	0,33333	53	0,01887	103	0,00971	153	0,00654	203	0,00493
4	0,25000	54	0,01852	104	0,00962	154	0,00649	204	0,00490
5	0,20000	55	0,01818	105	0,00952	155	0,00645	205	0,00488
6	0,16666	56	0,01786	106	0,00943	156	0,00641	206	0,00485
7	0,14286	57	0,01754	107	0,00935	157	0,00637	207	0,00483
8	0,12500	58	0,01724	108	0,00926	158	0,00633	208	0,00481
9	0,11111	59	0,01695	109	0,00917	159	0,00629	209	0,00478
10	0,10000	60	0,01666	110	0,00909	160	0,00625	210	0,00476
11	0,09090	61	0,01639	111	0,09901	161	0,00621	211	0,00474
12	0,08333	62	0,01613	112	0,00893	162	0,00617	212	0,00472
13	0,07692	63	0,01587	113	0,00885	163	0,00614	213	0,00470
14	0,07143	64	0,01563	114	0,00877	164	0,00610	214	0,00467
15	0,06666	65	0,01538	115	0,00869	165	0,00606	215	0,00465
16	0,06250	66	0,01515	116	0,00862	166	0,00602	216	0,00463
17	0,05882	67	0,01493	117	0,00855	167	0,00599	217	0,00461
18	0,05555	68	0,01471	118	0,00847	168	0,00595	218	0,00459
19	0,05263	69	0,01449	119	0,00840	169	0,00592	219	0,00457
20	0,05000	70	0,01428	120	0,00833	170	0,00588	220	0,00455
21	0,04762	71	0,01408	121	0,00826	171	0,00585	221	0,00452
22	0,04545	72	0,01389	122	0,00820	172	0,00581	222	0,00450
23	0,04348	73	0,01370	123	0,00813	173	0,00578	223	0,00448
24	0,04166	74	0,01351	124	0,00806	174	0,00575	224	0,00446
25	0,04000	75	0,01333	125	0,00800	175	0,00571	225	0,00444
26	0,03846	76	0,01316	126	0,00794	176	0,00568	226	0,00442
27	0,03703	77	0,01299	127	0,00787	177	0,00565	227	0,00440
28	0,03571	78	0,01282	128	0,00781	178	0,00562	228	0,00438
29	0,03448	79	0,01266	129	0,00775	179	0,00559	229	0,00437
30	0,03333	80	0,01250	130	0,00769	180	0,00555	230	0,00435
31	0,03226	81	0,01235	131	0,00763	181	0,00552	231	0,00433
32	0,03125	82	0,01219	132	0,00758	182	0,00549	232	0,00431
33	0,03030	83	0,01205	133	0,00752	183	0,00546	233	0,00429
34	0,02941	84	0,01190	134	0,00746	184	0,00543	234	0,00427
35	0,02848	85	0,01177	135	0,00741	185	0,00540	235	0,00425
36	0,02778	86	0,01163	136	0,00735	186	0,00538	236	0,00424
37	0,02703	87	0,01149	137	0,00730	187	0,00535	237	0,00422
38	0,02632	88	0,01136	138	0,00725	188	0,00532	238	0,00420
39	0,02564	89	0,01124	139	0,00719	189	0,00529	239	0,00418
40	0,02500	90	0,01111	140	0,00714	190	0,00526	240	0,00417
41	0,02439	91	0,01099	141	0,00709	191	0,00524	241	0,00415
42	0,02381	92	0,01087	142	0,00704	192	0,00521	242	0,00413
43	0,05326	93	0,01075	143	0,00699	193	0,00518	243	0,00412
44	0,02273	94	0,01064	144	0,00694	194	0,00516	244	0,00410
45	0,02222	95	0,01053	145	0,00690	195	0,00513	245	0,00408
46	0,02174	96	0,01042	146	0,00685	196	0,00510	246	0,00407
47	0,02128	97	0,01031	147	0,00680	197	0,00508	247	0,00405
48	0,02089	98	0,01020	148	0,00676	198	0,00505	248	0,00403
49	0,02041	99	0,01010	149	0,00671	199	0,00503	249	0,00402
50	0,02000	100	0,01000	150	0,00666	200	0,00500	250	0,00400

Table des nombres réciproques de la 1re chiliade à l'usage des Opticiens.

NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES	
directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.
250	0,00400	300	0,00333	350	0,00285	400	0,00250	450	0,00222
251	0,00398	301	0,00332	351	0,00285	401	0,00249	451	0,00222
252	0,00397	302	0,00331	352	0,00284	402	0,00249	452	0,00221
253	0,00395	303	0,00330	353	0,00283	403	0,00248	453	0,00220
254	0,00394	304	0,00329	354	0,00283	404	0,00248	454	0,00220
255	0,00392	305	0,00328	355	0,00282	405	0,00247	455	0,00220
256	0,00391	306	0,00327	356	0,00281	406	0,00246	456	0,00219
257	0,00389	307	0,00326	357	0,08280	407	0,00246	457	0,00219
258	0,00387	308	0,00325	358	0,00279	408	0,00245	458	0,00218
259	0,00386	309	0,00324	359	0,00278	409	0,00245	459	0,00218
260	0,00385	310	0,00323	360	0,00278	410	0,00244	460	0,00217
261	0,00389	311	0,00322	361	0,00277	411	0,00243	461	0,00217
262	0,00382	312	0,00321	362	0,00276	412	0,00243	462	0,00216
263	0,00380	313	0,00320	363	0,00276	413	0,00242	463	0,00216
264	0,00379	314	0,00319	364	0,00275	414	0,00242	464	9,00216
265	0,00377	315	0,00317	365	0,00274	415	0,00241	465	0,00215
266	0,00376	316	0,00316	366	0,00273	416	0,00240	466	0,00215
267	0,00375	317	0,00315	367	0,00273	417	0,00240	467	0,00214
268	0,00373	318	0,00314	368	0,00272	418	0,00239	468	0,00214
269	0,00372	319	0,00313	369	0,00271	419	0,00239	469	0,00213
270	0,00370	320	0,00313	370	0,00270	420	0,00238	470	0,00213
271	0,00369	321	0,00312	371	0.00270	421	0,00238	471	0,00212
272	0,00368	322	0,00311	372	0,00269	422	0,00237	472	0,00212
273	0,00366	323	0,00310	373	0,00268	423	0,00236	473	0,00211
274	0,00365	324	0,00309	374	0,00267	424	0,00236	474	0,00211
275	0,00364	325	0,00308	375	0,00267	425	0,00235	475	0,00211
276	0,00362	326	0,00307	376	0,00266	426	0,00235	476	0,00210
277	0,00361	327	0,00306	377	0,00265	427	0,00234	477	0,00210
278	0,00360	328	0,00305	378	0,00265	428	0,00234	478	0,00209
279	0,00358	329	0,00304	379	0,00264	429	0,00233	479	0,00209
280	0,00357	330	0,00303	380	0,00263	430	0,00233	480	0,00208
281	0,00356	331	0,00303	381	0,00263	431	0,00232	481	0,00208
282	0,00355	332	0,00302	382	0,00262	432	0,00232	482	0,00207
283	0,00353	333	0,00301	383	0,00261	433	0,00231	483	0,00207
284	0,00352	334	0,00300	384	0,00260	434	0,00230	484	0,00207
285	0,00351	335	0,00299	385	0,00260	435	0,00230	485	0,00206
286	0,00350	336	0,00298	386	0,00259	436	0,00229	486	0,00206
287	0,00347	337	0,00297	387	0,00258	437	0,00229	487	0,00205
288	0,00347	338	0,00296	388	0,00258	438	0,00228	488	0,00205
289	0,00346	339	0,00295	389	0,00257	439	0,00228	489	0,00204
290	0,00345	340	0,00294	390	0,00256	440	0,00228	490	0,00204
291	0,00344	341	0,00293	391	0,00256	441	0,00227	491	0,00204
292	0,00342	342	0,00292	392	0,00255	442	0,00226	492	0,00203
293	0,00341	343	0,00292	393	0,00255	443	0,00226	493	0,00203
294	0,00340	344	0,00291	394	0,00254	444	0,00225	494	0,00202
295	0,00339	345	0,00290	395	0,00253	445	0,00225	495	0,00202
296	0,00338	346	0,00289	396	0,00253	446	0,00224	496	0,00202
297	0,00337	347	0,00288	397	0,00252	447	0,00224	497	0,00201
298	0,00336	348	0,00287	398	0,00251	448	0,00223	498	0,70201
299	0,00334	349	0,00286	399	0,00251	449	0,00223	499	0,00200
300	0,00333	350	0,00285	400	0,00250	450	0,00222	500	0,00200

Table des nombres réciproques de la 1re chiliade à l'usage des Opticiens.

NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES	
directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.
500	0,00200	550	0,00182	600	0,00167	650	0,00154	700	0,00143
501	0,00200	551	0,00182	601	0,00166	651	0,00154	701	0,00143
502	0,00199	552	0,00181	602	0,00166	652	0,00153	702	0,00142
503	0,00199	553	0,00181	603	0,00166	653	0,00153	703	0,00142
504	0,00198	554	0,00181	604	0,00166	654	0,00153	704	0,00142
505	0,00198	555	0,00180	605	0,00165	655	0,00153	705	0,00142
506	0,00198	556	0,00180	606	0,00165	656	0,00152	706	0,00142
507	0,00197	557	0,00180	607	0,00165	657	0,00152	707	0,00142
508	0,00197	558	0,00179	608	0,00165	658	0,00152	708	0,00142
509	0,00196	559	0,00179	609	0,00164	659	0,00152	709	0,00142
510	0,00196	560	0,00179	610	0,00164	660	0,00152	710	0,00142
511	0,00196	561	0,00178	611	0,00164	661	0,00151	711	0,00141
512	0,00195	562	0,00178	612	0,00163	662	0,00151	712	0,00141
513	0,00195	563	0,00177	613	0,00163	663	0,00151	713	0,00141
514	0,00195	564	0,00177	614	0,00163	664	0,00151	714	0,00141
515	0,00194	565	0,00177	615	0,00163	665	0,00150	715	0,00140
516	0,00194	566	0,00177	616	0,00162	666	0,00150	716	0,00140
517	0,00193	567	0,00176	617	0,00162	667	0,00150	717	0,00139
518	0,00193	568	0,00176	618	0,00162	668	0,00150	718	0,00139
519	0,00193	569	0,00176	619	0,00162	669	0,00150	719	0,00139
520	0,00192	570	0,00175	620	0,00161	670	0,00149	720	0,00139
521	0,00192	571	0,00175	621	0,00161	671	0,00149	721	0,00139
522	0,00192	572	0,00175	622	0,00161	672	0,00149	722	0,00139
523	0,00191	573	0,00175	623	0,00161	673	0,00149	723	0,00138
524	0,00191	574	0,00174	624	0,00160	674	0,00148	724	0,00138
525	0,00190	575	0,00174	625	0,00160	675	0,00148	725	0,00138
526	0,00190	576	0,00174	626	0,00160	676	0,00148	726	0,00138
527	0,00195	577	0,00173	627	0,00160	677	0,00148	727	0,00138
528	0,00189	578	0,00173	628	0,00159	678	0,00147	728	0,00137
529	0,00189	579	0,00173	629	0,00159	679	0,00147	729	0,00137
530	0,00189	580	0,00172	630	0,00159	680	0,00147	730	0,00137
531	0,00188	581	0,00172	631	0,00158	681	0,00147	731	0,00137
532	0,00188	582	0,00172	632	0,00158	682	0,00147	732	0,00137
533	0,00188	583	0,00172	633	0,00158	683	0,00146	733	0,00136
534	0,00187	584	0,00171	634	0,00158	684	0,00146	734	0,00136
535	0,00187	585	0,00171	635	0,00157	685	0,00146	735	0,00136
536	0,00187	586	0,00171	636	0,00157	686	0,00146	736	0,00136
537	0,00186	587	0,00170	637	0,00157	687	0,00146	737	0,00136
538	0,00186	588	0,00170	638	0,00157	688	0,00145	738	0,00136
539	0,00186	589	0,00170	639	0,00157	689	0,00145	739	0,00135
540	0,00185	590	0,00169	640	0,00156	690	0,00145	740	0,00135
541	0.00185	591	0,00169	641	0,00156	691	0,00145	741	0,00135
542	0,00185	592	0,00169	642	0,00156	692	0,00144	742	0,00135
543	0,00184	593	0,00169	643	0,00156	693	0,00144	743	0,00135
544	0,00184	594	0,00168	644	0,00155	694	0,00144	744	0,00134
545	0,00184	595	0,00168	645	0,00155	695	0,00144	745	0,00134
546	0,00183	596	0,00168	646	0,00155	696	0,00144	746	0,00134
547	0,00183	597	0,00168	647	0,00155	697	0,00143	747	0,00134
548	0,00183	598	0,00167	648	0,00154	698	0,00143	748	0,00134
549	0,00182	599	0,00167	649	0,00154	699	0,00143	749	0,00134
550	0,00182	600	0,00167	650	0,00154	700	0,00143	750	0,00133

Table des nombres réciproques de la 1re chiliade à l'usage des Opticiens.

NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES		NOMBRES	
directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.	directs	réci-proques.
750	0,00133	800	0,00125	850	0,00118	900	0,00111	950	0,00105
751	0,00133	801	0,00125	851	0,00117	901	0,00111	951	0,00105
752	0,00133	802	0,00125	852	0,00117	902	0,00111	952	0,00105
753	0,00133	803	0,00125	853	0,00117	903	0,00111	953	0,00105
754	0,00133	804	0,00124	854	0,00117	904	0,00111	954	0,00105
755	0,00132	805	0,00124	855	0,00117	905	0,00111	955	0,00105
756	0,00132	806	0,00124	856	0,00117	906	0,00110	956	0,00105
757	0,00132	807	0,00124	857	0,00116	907	0,00110	957	0,00104
758	0,00132	808	0,00124	858	0,00116	908	0,00110	958	0,00104
759	0,00132	809	0,00124	859	0,00116	909	0,00110	959	0,00104
760	0,00132	810	0,00124	860	0,00116	910	0,00110	960	0,00104
761	0,00131	811	0,00124	861	0,00116	911	0,00110	961	0,00104
762	0,00131	812	0,00123	862	0,00116	912	0,00110	962	0,00104
763	0,00131	813	0,00123	863	0,00116	913	0,00110	963	0,00104
764	0,00131	814	0,00123	864	0,00116	914	0,00109	964	0,00104
765	0,00131	815	0,00123	865	0,00116	915	0,00109	965	0,00104
766	0,00131	816	0,00123	866	0,00115	916	0,00109	966	0,00104
767	0,00130	817	0,00122	867	0,00115	917	0,00109	967	0,00103
768	0,00130	818	0,00122	868	0,00115	918	0,00109	968	0,00103
769	0,00130	819	0,00122	869	0,00115	919	0,00109	969	0,00103
770	0,00130	820	0,00122	870	0,00115	920	0,00109	970	0,00103
771	0,00130	821	0,00122	871	0,00115	921	0,00109	971	0,00103
772	0,00130	822	0,00122	872	0,00115	922	0,00109	972	0,00103
773	0,00129	823	0,00122	873	0,00115	923	0,00108	973	0,00103
774	0,00129	824	0,00121	874	0,05114	924	0,00108	974	0,00103
775	0,00129	825	0,00121	875	0,00114	925	0,00108	975	0,00103
776	0,00129	826	0,00121	876	0,00114	926	0,00108	976	0,00102
777	0,00129	827	0,00121	877	0,00114	927	0,00108	977	0,00102
778	0,00129	828	0,00121	878	0,00114	928	0,00108	978	0,00102
779	0,00128	829	0,00121	879	0,00114	929	0,00108	979	0,00102
780	0,00128	830	0,00121	880	0,00114	930	0,00108	980	0,00102
781	0,00128	831	0,00121	881	0,00114	931	0,00108	981	0,00102
782	0,00128	832	0,00120	882	0,00113	932	0,00107	982	0,00102
783	0,00128	833	0,00120	883	0,00113	933	0,00107	983	0,00102
784	0,00128	834	0,00120	884	0,00113	934	0,00107	984	0,00102
785	0,00127	835	0,00120	885	0,00113	935	0,00107	985	0,00102
786	0,00127	836	0,00120	886	0,00113	936	0,00107	986	0,00101
787	0,00127	837	0,00120	887	0,00113	937	0,00107	987	0,00101
788	0,00127	838	0,00119	888	0,00113	938	0,00107	988	0,00101
789	0,00127	839	0,00119	889	0,00112	939	0,00106	989	0,00101
790	0,00127	840	0,00119	890	0,00112	940	0,00106	990	0,00101
791	0,00126	841	0,00119	891	0,00112	941	0,00106	991	0,00101
792	0,00126	842	0,00119	892	0,00112	942	0,00106	992	0,00101
793	0,00126	843	0,00119	893	0,00112	943	0,00106	993	0,00101
794	0,00126	844	0,00119	894	0,00112	944	0,00106	994	0,00101
795	0,00126	845	0,00118	895	0,00112	945	0,00106	995	0,00101
796	0,00125	846	0,00118	896	0,00112	946	0,00105	996	0,00100
797	0,00125	847	0,00118	897	0,00111	947	0,00105	997	0,00100
798	0,00125	848	0,00118	898	0,00111	948	0,00105	998	0,00100
799	0,00125	849	0,00118	899	0,00111	949	0,00105	999	0,00100
800	0,00125	850	0,00118	900	0,00111	950	0,00105	1000	0,00100

Paris. — Imprimerie de MALLET-BACHELIER, rue du Jardinet, 12.

Appareils optiques.

Fig. 1re.

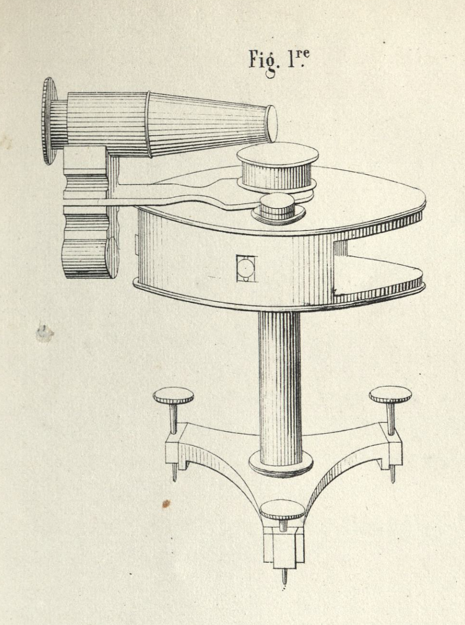


Fig 2me.

k i h g f e d c b a

Imp. Kaeppelin, Quai Voltaire, 17, à Paris.